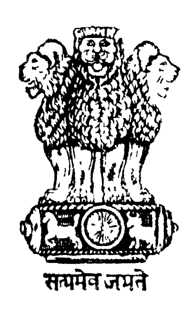

सत्यमेव जयते

Bodenkunde und Pflanzenernährung

Seite
32
52

Neue Folge der „Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde", Band 1–45

Herausgegeben von der Reichsarbeitsgemeinschaft „Landwirtschaftliche Chemie" im Forschungsdienst

---

12. (57.) Band



1939

Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin

Printed in Germany

Druck von G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig)

Originalarbeiten

Seite

Arenz, B.: s. *W. Schropp* u. *B. Arenz* 32
. s. *W. Schropp* u. *B Arenz* 52
Balks, R: Über eine neue Bodenmühle 247
Baumeister, W: Der Einfluß mineralischer Düngung auf den Ertrag und die Zusammensetzung des Kornes der Sommerweizenpflanze . . . 175
Berks, R: Über den Einfluß mineralischer Düngung auf die chemische Zusammensetzung der Gersten- und Haferfrucht 129
Diastoch, W.: Herstellung und Düngerwirkung der Jauchekomposte . . 316
Dhar, N. R, E. V Seshycharyulu u *S K Mukerji*: Photochemie der Stickstoffestlegung im Boden und Ähnlichkeit zwischen Stickstoffestlegung und Photosynthese 222
Egglhuber, E: s. *K Opitz, E Tamm, E. Egglhuber* u. *W Knies* . . 257
Gabriel, A: Versuche, betreffend Erhaltung des Stickstoffs in der Jauche durch Zusatz von Superphosphat 303
Giesecke, F, u *K Schmalfuß* (Ref.): Über die Wirkung verschiedener Stickstoffdünger in einmaliger und geteilter Gabe im Freilanddüngungsversuch zu Winterweizen auf leichtem Boden 280
u. *M Sterz*: Ein Beitrag zur Kalkstickstoffumsetzung im Boden . . . 10
Herzog, G: Über den Einfluß der Dämpfung auf die biologischen und chemischen Eigenschaften der Gartenerde 339
Jacob, A: Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz 231
Knies, W: s *K Opitz, E Tamm, E. Egglhuber* u. *W Knies* 257
Nehring, K: Über die Erhaltung des Stickstoffgehaltes der Jauche durch Zusatz von Superphosphat und Torf 289
Nostitz, A.: Untersuchungen über die Leitfähigkeit des Bodens für elektrischen Strom 1
Opitz, K., E. Tamm, E Egglhuber u. *W. Knies*: Untersuchungen über die Wirkung der Kalisalze auf den Ertrag und die wertbildenden Eigenschaften des Faser- und Ölleins 257
Pfaff, C.: Lysimeterversuche mit verschiedenen Stickstoffdüngern . . . 45
Ratje, W: Zur Kenntnis der Phosphate I: Über Hydroxylapatit . . . 121
Schander, H: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren in Sandkultur 71
Schmalfuß, K: s. *F Giesecke* u. *K Schmalfuß* 280
Schnell, J: Neue Laboratoriumsapparate zur Bodenuntersuchung . . 250
Schropp, W, u. *B. Arenz*: Über den Kalzium- und Magnesiummangel bei einigen Öl- und Gespinstpflanzen 32
Schropp, W., u *B Arenz*: Stickstoff-Kopfdüngungsversuche zu Winterölfrüchten 52
Springer, U: Zur Methodik der Stallmistuntersuchung 84
Sterz, M: s. *F. Giesecke* u. *M Sterz* 10
Tamm, E.: s. *K Opitz, E. Tamm, E Egglhuber* u. *W. Knies* 257

Sach-Verzeichnis

Bodenkunde und Pflanzenernährung
12. (57.) Band 1939

Abderhalben, E. 173
Aberson, Versuche über Wurzelausscheidungen . . . 81, 82
Absolutkolorimetrie für Humusextraktbestimmung 89
Absorption von Ammoniak-N durch Bodenkolloide . 28
— von CO_2 und H_2O durch das Blattchlorophyll 228
— von H_2 und O_2 an Platin- oder Palladiumoberflächen 228
Absorptionsfähigkeit von Kalziumphosphat . . 121, 122
Adsorptionsbestimmung nach Knop . . 11, 12
— **kraft** des Bodens . 21, 29
durch negative Ladung der Bodenteilchen hervorgerufen . 1
Agultson, H: Bor als Dünger-Katalysator . 206, 221
Ackerboden. Bakterienflora d. — 383
Aktinomyzeten. Beeinfl. durch Dämpfung . 344, 373, 382
Albert, R.. Studien über Humussäuren 384
Albumin als Eiweißbestandteil . 183
Aleuronzellen im Getreidekorn, Beeinfl. durch versch. Dünger 177, 186, 187, 194, 199, 200, 206, 213
Alkalihumatlösungen aus Torfhuminsäuren . . 98
Alkalihumifizierung 98
— **wirkung** als Ursache für Kalkempfindlichkeit . . . 78, 79
Alten, F.· Kohlensäureassimilation u. N-Haushalt bei gestaffelter K-Gabe 168, 169, 191, 216, 221
—. Untersuchung der totalen Sorption 11
—. Wirkung von Kalium auf die CO_2-Aufnahme von Weizenblättern 174
Amid zum Aufbau von Eiweiß . 167
— **anhäufung** in der Pflanze 137, 215
— **-Stickstoff.** Bestimmung des — 131
—. Bildung im Getreidekorn bei versch. Düng. 149, 183, 190, 191, 204, 210, 211
α-**Aminosäuren.** Anhäufung bei N-Mangel 183
. Gehalt in der Begonia semper florens 166
. Bildung der — 139
Ammoniakbildung durch biolog. Zersetzung pflanzl. Eiweißes . 354
—. Beeinfl. durch Dämpfung 350, 356, 358, 360, 362, 363, 365, 382
durch Mikroorganismentätigkeit 341, 362, 377
entgiftung . . . 215
gehalt des Bodens auf Grund von Bodenprotozoen . . . 341
-**N** im Boden 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
—. Absorption durch Bodenkolloide 29
—. Beeinfl. durch Dämpfung 375, 376, 377, 379
— Bestimmung des — . . . 131
—. Bestimmung mit Magnesia usta 345, 346
. Festlegung von — als Eiweiß-N 29
im Harn . 306, 307, 310, 311
—. Nitrifikation des — . 26, 51
—. Umwandlung des Kalkstickstoff zu — . 10, 14, 17, 29, 30
. Umwandlung zu Nitrat-N 27, 29
—. Umwandlung aus Zyanamid 30
—. Verflüchtigung von — . 21, 27
Ammonifikation von Harnstoff 287
Ammoniumcarbonat. Bildung durch Umsetzung von Harnstoff 326
— **chlorid** als N-Dünger . . 49
Ammonnitrat als Grunddg. . . 259
—. Umwandlung in Harnstoff . 32
Ammoniumnitrit. Bildung von — bei der Denitrifikation . . 22
—. Bildung bei der Oxydation von P 230
Ammoniumsulfat als N-Gabe 11, 13, 15, 16 ff., 30, 46, 47, 49, 282 ff.
—. Nitrifikation bei — 10
Anaerobe Bakterien in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 373, 382

Analysenmethode nach Pregl . 131
Anatom. Merkmale des Faserleins 266, 268, 269, 270, 271, 278
Antagonismus zwischen Kalzium und Kalium 156, 169, 170, 200, 217
— zwischen N-Gabe und Zuckerspiegel im grünen Blatt . . . 181
— zwischen Stärke- und Eiweißgehalt 192
Antiseptika zur Vermeidung der N-Verluste bei der Jauchegewinnung 289
Apatitstruktur der Phosphorite 122
Apparate zur Bodenuntersuchg. 250
Arenz, K.: Photosynthese in $KHCO_3$-Lösungen . . . 168, 174
Arndsche Legierung zur Reduktion von Nitrat-N . . . 14
Asche, Wirkung auf d. Pufferung 117
Aschegehalt im Getreidekorn Beeinflussung durch verschied Düngung . 192, 193, 198, 204, 205, 211, 212, 218
von Stallmistproben 101, 109, 110, 114, 115
Asparagin. Aufbau und Abbau des — . . . 173, 220
. Hydrolyse von — 131
Assimilation. Die Rolle von K und P bei der — versch N-Formen durch Pflanzen . 140, 172, 221
Atma Ram . . . 227, 229, 231
Atmung. Beziehungen zwischen Photosynthese und 228, 229
Atterberg. Schlammanalyse nach . . . 11
Auslaugungsgrad. Leitungswiderstand in Abhängigkeit vom des Bodens . . 3
Auswaschbarkeit von Zyanamid 287
Auswaschungsverluste bei Kopfdüngungsversuchen . . 69
— **versuche** für versch. Nährstoffe 45
Austauschazidität. Bestimmung der — 345
—. Einfl. der Dämpfung auf — 373
Azaleenerde „Pillnitz" 353, 354, 358, 367, 372, 373
Azetolyse der Umwandlungsprod. von Zellulose . . . 87
—. Verzögerung durch kohlens. Kalk 88
Azetylbromid-Methode z. Stallmistbeurteilung 84, 86, 92, 95, 99, 102, 103, 106, 107, 108, 109, 111, 120, 324
Azidität des festen Bodens . 373
— des Bodenwassers . . 373
Aziditätsbestimmung versch. Böden 11, 12, 31
A-Z-Lösung nach Hoagland . 33
Azotobakter in Böden, die Energiestoffe enthalten . 226, 227, 230

Backfähigkeit der Weizenmehle 187
Bakterien. Nitratbildende — . 31
. Anaerobe — im Boden 95, 344, 373
—. Nitrifizierende — 26, 27, 29, 30, 31
. Nitritbildende — 22
. Sporenbildende — 343
. Einfl der Temperatur auf die Entwicklung der — 381
—. Humusstoffe als Nährsubstrat für — 367
— als Nahrung von Protozoen . 341
—**eiweiß.** Aufbau aus organ. N 322, 325, 338
. N-Festlegung im Boden als — 281, 286
flora des Ackerbodens . 383
tätigkeit im Boden 18, 27, 28, 29
— Beeinfl. durch Dämpfung 340, 381
—. Beeinfl. durch Temperatur, Feuchtigkeit oder Reaktion 347, 366, 367, 368, 372
. Einfl. auf NH_3-Bildung 341, 377
Erhöhung durch Abtöten der Protozoen . . . 341
in Kompost . . . 325
vermehrung. Abhängigkeit von Reaktion 338
— im Kompost 322
Basenaustauschkapazität nach Kappen . . . 373
Begonia semper florens . 166
Bercks, R: Düngungsvers. zu Hafer und Gerste 175, 176, 177, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 188, 189, 190, 191, 195, 196, 197, 201, 202, 203, 216, 219
Bergmann, M: Eiweißstoffe . 220
Bertrand: Zuckerbestimmung nach — 131
Bestockung bei Gerste- und Hafervers. . . . 132, 133, 134
Bewley, W. F.: Dampfbehandlung von Gewächshauserde . 383
Bikarbonat. Wirkung auf die Chlorose . . . 72
Biologische Untersuchungen gedämpften Bodens . . . 343
Bischof: Mg-Düngung zu Hafer 159, 162
Blaier, A. W. . . . 188, 208, 220
Blanck: Versuche über die Kalkempf. der Lupine . . . 78, 83
Blattchlorophyll. Absorption von CO_2 u. H_2O durch — . . 228
Blattgewebe. Veränderungen durch Nährstoffmangel . 33, 41

Blumenkohlerde „Engler“ zu Dämpfungsversuchen 364
Boas: Kolloidchem. Methoden in der Pflanzenpathologie . 82, 83
Bobko, E.: Physiologische Rolle einiger Mikroelemente 211, 218, 222
Boehm, J.: Vegetabilischer Nährwert der Kalksalze . . . 196, 221
Boekholt, K.: Düngungsversuche zu Gerste und Weizen 178, 187, 219
Bördeboden 234
Borax als Extraktionsmittel . . 85
Boden. Absorptionskraft des — 21, 29
—. Aziditätskonstanten des — 11 345,
—. Gehalt an anaeroben Bakterien 344
— als Belegung eines Kondensators 1
—. Beziehungen zw. mechan. Zusammensetzung u. Hygroskopizität des — 32
—. Botan. Zusammensetzung der Mikroflora des 340
—. Chem. Untersuchung des — 344
—. Feuchtigkeitsgehalt des — 4, 28, 29
—. Humusfreier 8, 9
—. Humushaltiger . . . 8, 9
—. Kalkgehalt im . 11, 28, 70
—. Kalkstickstoffumsetzung im — 10
—. Kalkzustand des — für Ölfruchtanbau 69
—. Kohlenstoffgehalt im — 11, 12
—. Kolloidale Bestandteile des — 18
—. Leitfähigkeit eines gegebenen — unter dem Einfl. landwirtschaftl. Pflegemaßnahmen 1, 3, 4, 7
—. Mikrobielle Umsetzungen im 15
—. Gehalt an Mikroorganismen 29, 317
—. Nitrifikation im — 10, 27, 28, 30, 31
—. Nitrit- und Nitratbildner im — 26, 28
—. Organ. Substanz des . . 18
— als physikal. Standort d. Pflanzen 317
—. Physik. Untersuchung des — 11
—. Bestimmung der Pilze im — 344
—. Bestimmung der Protozoen u. Cysten im — 344
—. Reaktionszustand des . . 70
—. Sättigungsgrad des — . 378, 379
—. Sorptions- u. Pufferungsvermögen des — 8, 317
—. Gehalt an Stickstoff im — 11, 12, 15, 19, 21, 27
—. Umsetzungsgeschwindigkeit des — 30, 31
—. Umwandlung von Ammonnitrat in Harnstoff 32
—**veränderungen** durch Dämpfung 342
—. Bestimmung des Volumgewichtes im — 344
—. Bestimmung der Wasserkapazität 344
analyse. Mechanische — . . 11
behandlung. Elektrische — 3, 6
—**dämpfung** 381
—. Einfluß auf die Reaktionsverhältnisse im — 344
—. Keimzahl im — nach der — 343
—**desinfektion** 383
eigenschaften. Einfl. geringer Humusmengen auf die — . . 3
—**extrakt**-Agar als Nährboden . 343
—**fruchtbarkeit.** Erhaltung d. — 232, 247
—**kolloide.** Absorption von Ammonik-N durch 29
—. Kaligehalt in den . . 233
—**krümel.** Ladung der . . . 1
—**lagerung.** Einfl. der — auf den Stromwiderstand 6
—**lockerung.** Einfl. der — auf den Leitungswiderstand . . . 9
—**lösung** in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt 4
—. Kaligehalt in der — . 233
mühle nach Schnell 247, 248, 249, 252
nährstoffe. Löslichkeitszustand der 234
—**proben.** Vorbereitung der — 249, 250
—**reaktion.** Beeinflussung durch verschiedene N-Dünger . . . 286
— als Ursache für Kalkempfindlichkeit 78, 79, 80
— bei Kopfdüngungsversuchen 64, 65
—**sterilisation** und Pflanzenwachstum 383
teilchen. Oberflächenspannung der 1
—**typen.** Leitungswiderstand verschiedener — 1
—**untersuchung** . . . 231, 284
—. Neue Apparate zur . . . 250
— nach Neubauer 233, 234, 238, 242, 246, 247, 251
— und Nährstoffbilanz 238, 240, 242, 243
— zur Nährstoffkontrolle 232, 233, 238
—. Vereinfachung der Methoden zur — 247
—**untersuchungsmethoden**
Flammenphotometr. Best. . . 247
Kolorimetr. Best. 247
—**verbesserung** durch Dämpfung 384
—**wasser.** Azidität des — . . 373
zerkleinerungs- und Siebmaschine nach Schnell 250, 251, 252

Bor als Spurenelement bei verschied. Pflanzen 33
—. Bedeutung für Dikotylen . . 217
—. Bedeutung für Monokotylen . 217
—. Einfluß auf die Größe der Aleuronzellen 213
—. Einfl. auf die Stärkesynthese 209, 211, 212
—. Einfl. auf Wachstum v. Gerste 206
—. Einfl. auf Wachstum d. Hafers 206
—. Einfl. auf das Wachstum des Reises 207, 217
—. Einfl. auf Wachstum d. Weizens 206, 207
—. Einfl. auf den Amidgehalt im Weizenkorn 210
—. Einfl. auf den Aschegehalt im Weizenkorn . . 211, 212, 218
—. Einfl. auf den Eiweißgehalt im Weizenkorn 210
—. Einfl. auf Ertrag und Kornbeschaffenheit von Weizen 175, 206, 207, 212, 218, 219
—. Einfl. auf den N-Gehalt im Weizenkorn . . 210, 211
—. Einfl. auf den Zuckergehalt im Weizenkorn . . 209, 212
—. Physiolog. Wirkung b. Weizen 221
—. Variationskurven des Korngewichtes beim Weizen bei Düngung mit — 212
—. Zur Geochemie des — . . . 222
—. Verteilung in der Pflanze . 208
—. Wirkung auf das Pflanzenwachstum . . 206, 217, 221, 222
Braunerde, degradierte. Gehalt an Huminen 101
—. Leitungswiderstand von 2, 9
Braunkohlenaschen zur Festlegung von Huminsäuren . . 114
Bredemann, G.: Einfl. der Ernährung auf Zusammens. d. Stärke in Kartoffeln . . 187, 220
Brenchley, W. E.. Wirkg. von Zn-, As- und B-Verb. auf das Pflanzenwachstum . . 206, 221
Bromthymolblau als Indikator . 124
Buchanan, J. H.: Quant. Best. der Korngrößen der Kartoffelstärke 187, 220
Burgess, R.: Partielle Sterilisation 372, 384
Burk: Versuche mit d. gelb. Lupine 82
Burström, H.: Über antagonistische Erscheinungen bei der Kationenaufnahme des Hafers 147, 169, 170, 173, 180, 219

Canals 169, 174
Chemikalien als Jauchekonservierungsmittel 303
Chilesalpeter als N-Dünger 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61
Chinhydronelektrode zur pH-Messung 71, 73, 75, 117
Chlorella. Versuche an — 169, 174
Chlor-Ionen. Einfl. auf Jodzahl 264
Chlorkali. Einfl. auf Korn- und Strohertrag von Faserlein 261, 275, 277, 279
— als typ. wasserl. Salz 8
— als Zusatz bei Leitungswiderstandsmessungen 8, 9
Chlorophyll. Mg als Bestandteil des — 169
—. Zerstörung bei Nährstoffmangel 41
—gehalt bei versch. Düngung 162, 170, 174, 202, 217
Chloroplasten. Einfluß auf die Photosynthese 229
Chlorose. Abhängigkeit vom Kalkgehalt 79, 83
—. Abhängigkeit von Salzkonz. und pH-Wert 71, 72
—. Auftreten der — . 75, 77, 80, 81
Chlorosewert. Bestimmung des —es 71, 72, 73, 74, 79
Chlorverb. Einfl. auf Ertrag u. Güte von Öl- u. Faserlein 257, 258
Chokkana, I. N. G.. Rolle d. K bei Zuckersynthese der Zuckerhirse . . . 172, 189, 220, 221
Chrysanthemenerde „Pillnitz“ 356, 357, 358, 359, 360, 362, 373
C:N-Verhältnis versch. Böden 12
— bei versch. Misten 103, 116, 117, 120
Coleman, D. A.: Über Bodensterilisation 383
Corbet 230, 231
Creuzburg, U. Wirkung von Mg auf den Ernteertrag des Bodens 219
Creydt. Versuche über die Kalkempfindl. der Lupine 78, 79, 81, 83
Cruciferen 44, 45
Cutler, D. W. Methode zur Bestimmung der Protozoenzahl im Boden 344, 383
Cysten. Bestimmung der — im Boden 344
Czapek. Versuche über Wurzelausscheidungen 80, 82

Dämpfung. Beeinfl. der Aktinomyzeten 373, 382
—. Einfl. auf anaerobe Bakterien 382
—. Einfl. auf die Austauschazidität 373
—. Einfl. auf bakterielle Eiweißbildung 351

Dämpfung. Einfl. auf d. Bakterientätigkeit 352, 355, 557, 358, 360, 361, 362, 365, 368, 381
—. Einfl. auf die Bewurzelung der Stecklinge 380, 381
—. Einfl. auf biol. und chem. Eigenschaften der Gartenerde 339
— versch. Boden . . 353, 357, 381
— des Bodens zur Vermeidung von Pflanzenkrankheiten . . 348
—. Einfl. auf Bodenaziditat . . 374
—. Einfl. a. die Bodenbeschaffenheit 346
—. Einfl. auf die Eiweißzersetzer 373
— von Gartenerden . . 342, 343
—. Einfl. auf die hydrolyt. Azidität 373, 374
—. Einfl. auf die Keimung von Samen 380, 381
—. Einfl. a. d. Kohlehydratzersetzer 373
. Einfl. a. d. Mikroorganismenwachstum 381
—. Einfl. auf den NH_3-Stickstoff 348, 349, 356, 358, 359, 360, 362, 363, 365, 375, 376, 377, 379, 382
—. Einfl. auf den Nitratgehalt . 375
—. Einfl. auf die Nitrifikation . 382
—. Einfl. auf die organ. Substanz des Bodens 350, 351, 374, 377, 382
—. Einfl. auf P-Gehalt 374
—. Einfl. a. d. Pflanzenwachstum 379
—. Einfl. a. Gehalt a. Pilzen 371, 372
—. Einfl. auf die Protozoen 368, 370, 371, 382
—. Einfl. auf den Sättigungsgrad der Boden 379
—. Einfl. auf die Sporenzahl . 368
—. Einfl auf Wasserkapazität 377, 378, 382
Dehydratation d Plasmakolloide 169, 216
Denitrifikation im Boden . 15
—. chem. — 22
—. mikrobielle — 23
Densch. Bestimmg. versch. N-Formen in Bodenauszügen . 384
Devardasche Legierung . . . 346
Dhar, N. R.: . 226, 227, 229, 231
Dietrich, Th.: Bodensterilisation und Pflanzenwachstum . . . 383
—. Versuche üb. d. Kalkempfindlichkeit der Lupine . . . 78, 83
Dikalziumphosphat . . 122, 123
— als Grunddüngung 259
— zur Darstellung v. Hydroxylapatit 125
—. Kohlensäuregehalt des — . 126
— als Nährlösung 32
Dikussar, I.: Nitrite als N-Quellen für höhere Pflanzen 190, 221
Dispersitätsänderung 94
Dissoziationsgrad 5
Dizyanamid. Bildung durch Polymerisation von Zyanamid 287
Dix und Bischof: Mg-Düngung zu Hafer 159, 162, 173
Doppelsuperphosphat a. Zusatz zur Jauche 292, 293, 294, 295, 296, 297
Duchon, F.. Über die „Kleberpest“ des Weizens . . 183, 220
Dugger: Eisenphosphatgemisch nach 33
Drehungswinkel f. Gerstenstärke 177
— spez. für Weizenstärke . . . 177
Düngemittel. Kalkstickstoff als — 26
Düngerberatung. Offene Fragen der — 84
Düngerstickstoff. Bedarf an mineralischem - 48
—auswaschung 47, 48, 49, 51, 52, 62
Düngerwirkung von Jauchetorfkomposten 318, 328, 332
Düngerzustand. Kontrolle des — durch Bodenunters. 247
Düngung. Einfluß auf das Endosperm des Getreidekorns . . 142
—. Einfluß auf Ertrag und Kornbeschaffenheit 129, 132, 133, 134, 145, 146, 147, 172, 175, 239, 240
. Einfl. der K-Düng. auf Kohlehydrathaushalt 129, 150
—. Einfl. auf den Leitungswiderstand des Bodens 7
— u. Nährstoffentzug . . 242, 243

Eaton, F. M.: Anhäufung von Bor bei wechselseitig gepfropften Pflanzen 208, 222
Egglhuber, E.: Vergl. Unters. zur Beurteilg. der Güte der Faser im Leinstengel 280
Einkorngewicht mehrerer Getreidearten bei versch. Düngung 132, 133, 134, 137, 139, 141, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 162, 163, 171, 179, 183, 185, 189
Einsalzkulturen bei Sandkultur. zur Prüfung der Chlorose . . 72
—, Versuche mit 77
Einsteins Gesetz der photochem Äquivalenz 222
Einstreu. Einfl. auf die Stapelung 86, 109, 120
Eisenhumuskomplex in podsoligen Böden 88
Eisenphosphatgemisch nach Dugger 33
Eisessig als Zusatz bei Extraktion von Mist 102

Eiweißerträge der Getreidekörner bei versch. Düngung 131, 136, 143, 153, 165, 166, 179, 190 194, 210
Eiweiß-Gehalt. Beziehungen zwischen Größe der Aleuronzellen und dem — 187
Eiweißkörper als Pflanzenbaustein 317
—. Widerstandsfähigkeit der 349
Eiweiß-Stickstoff. Festlegung von NH_3-N als — 29
Eiweißstoffwechsel bei Kalimangelpflanzen 173, 221
. Regulierung des — . . . 174
Eiweißsubstanz des Keimlings 183
. Aufbau der — 213
Eiweißsynthese 190
. Aufbau aus Amiden . 167
— aus Aminosäuren . 166, 167
—. Beeinflussung durch K 168, 216
— durch N . . 180, 181, 183
Eiweißumsatz. Regelung des — in den Pflanzen . . . 221
Eiweißverbindungen. Abbau bei gesteigerter Bakterientätigkeit 341
Eiweißzersetzer. Beeinfl durch Dämpfung 373
Eiweißzersetzung, biologische 348
Elektr. Bodenbearbeitung . . 6
Elektr. Ladung der Bodenkrümel 1
— der Wasserschicht 1
Elektr. Leitfähigkeit. Untersuchung der — 2
Elektr. Leitungswiderstand von Boden verschiedener Herkunft 2
Elektr. Strom. Leitfähigkeit des Bodens für . . . . . 1 ff., 9
Elektrizitätsträger. Wasser als — 1
Endosperm. Beeinflussung durch die Düngung 142
—. Kleberstoffe im 183
Engel, H.. Eiweiß-N-Bestimmung nach 131
. Bildung von Harnstoffnitrit 22
. Nitrifikationsvorgänge . . 32
—. Stickstoffumsatz grüner Pflanzen 173, 220
Energiebestimmung . . . 223
Energiebildung bei der Oxydation von Kohlehydraten . 229
Energiestoffe. Oxydation von — zur Energieversorgung des Bodens 227
Entbastung d. Humuskomplexes 119
Erde. Einfl. auf Pufferung . . 117
—. Einfl. auf die Stapelung 109, 113
Erdmann, R.: Organ. Leistung des K in der Pflanze 220
Ernest: Chem. Natur des Wurzelsekretes 84
Ernte-Untersuchung bei Lysimeterversuchen . . . 49, 50, 51
Ernteerträge bei versch Düngerformen bei Hafer, Gerste und Weizen 33, 35, 36, 37, 39, 41, 53, 54, 55, 61, 133, 134, 187, 194, 195, 200 201, 206, 234, 316
Ertragsgesetz 173
Ertragskurven bei Versuch mit Sommerweizen 177
Eschenholz, vermodertes, Gehalt an Humusstoffen 101
Extraktion. Reaktion bei der — 97, 99, 100, 103, 105, 106
. Säurevorbehandlung 98, 102, 103, 115, 119
Extraktionsmittel für Stallmistaufschlüsse 85, 89, 90, 92, 109, 114, 119
—. Alkalien . . . 90, 93, 98, 99ff.
—. Fluorwasserstoffsäure 90, 94, 95, 97, 98, 103, 105ff.
. Oxalsäure 90, 96, 97, 98, 99, 103, 108, 119
. Phosphorsäure 90
. Zitronensäure 90
Extinktion. Messung der . . 92

Fabian, H.: Beeinfl. der wertbildenden Eigenschaften von Bastfaserpflanzen 258, 280
Fällbarkeitsquotient 85
Farbgerade, typische 108
Farbtonquotient 92, 95, 96, 97, 99, 105, 107, 108, 113, 116
Farbvertiefung von Extrakten in Beziehung zur Humifizierung . 99
Farbwert, relativer 85, 87, 90, 91, 97, 104, 107, 112, 113, 120
— versch. Materialien 90
Faserausbeute. Beeinfl. durch Kainit 257
—bündelbreite. Beeinfl. durch versch. Kaliformen 274
gehalt. Bestimmung des — s . 266
Faserlein als Versuchspflanze 33, 35, 37, 39, 41, 43, 44
—. Beeinfl. des Korn- u. Stroh-Ertrages durch Chlorkali 257, 261
—. Einfl. von Ca-Mangel auf — 35
—. Einfl. von K auf Güte u. Ertrag von — 257, 258, 260, 261, 274
—. Einfl. von Mg-Mangel auf 41, 43
Ernteergebnisse bei Düngung mit versch. Kaliformen . . . 260
—. Morphol. u. anatom. Unters. des — 265
-stengel als Rohstoff für Spinnereien 273

Faserquerschnittfläche. Beeinfl. durch Chlorion und Sulfation 257
—zellenzahl Beeinfl. durch versch. Kaliformen 274
Fermente. Proteolyt. Zustand der — in den Pflanzen 221
Fettgehalt versch. Ölfrüchte bei Kopfdüngungsvers. 52 ff., 65, 69, 70, 71
Feuchtigkeit. Einfl. auf die Bakterientätigkeit 347
—. Einfl. der — auf den Leistungswiderstand 4, 9
—sgehalt versch. Böden . . . 5, 7
Fichtenrohhumus. Zusammensetzg. des 101
Flachs. Beeinfl. des Öl- und Faserertrages durch Cl und Mg 280
—. Kulturversuche mit — . . 280
Fleischer, W. E.: Beziehungen zwischen Chlorophyllgehalt und Photosynthese . . 163, 169, 173
Flieg, O.: Vers. zur Fütterung u. Silage 173, 181, 220
Fluorwasserstoffsäure als Extraktionsmittel 90, 114
Formaldehyd. Bildung i. Pflanzen 228
—. Bildg. durch Einwirkung von Sonnenlicht auf $KHCO_3$ . . 227
— durch Photooxydation organ. Substanzen gebildet . . 227, 231
— kolorim Bestimmung mit Schreyers Reagens . . . 227
Formalin als Konservierungsmittel für Jauche 303
Frank, B. A. Einfl. der Bodensterilisation auf das Pflanzenwachstum 383
—, A. Beteiligung des K an der Stofferzeugung der höheren Pflanze 221
— Einfl. von Mergel auf Wachstum der Lupine 78, 83
Fructopan. Vergleich mit Jauchetorfkompost 324
Frühbeeterde „Pillnitz" zu Dämpfungsversuchen . . 362, 363
Fruktose. Umwandlg. zu ligninart. Stoffen 87
Fuchsin als Farbstoff bei mikroskopischen Untersuchungen . 344
Furfurolbildung aus Galakturonsäure 86
Fulvosäuren 94

Galakturonsäure 86
Gare als wesentlicher Faktor der Bodenfruchtbarkeit 317
Gaskettenmethode. Best. der Wasserstoffionenkonz. nach der 81
Gaßner, G.: Assimilationsverhalten 174
—: N-Haushalt junger Weizenpfl. 220
—: Unters. an Getreideblättern . 219
Gehring, A.: Wirkung von Mg auf den Ernteertrag des Bodens 206, 219
Geochemie des Bors 222
Gerdum, E.: Fettbildung im Leinsamen 67, 71
Gerste. Einfl. verschiedener Düngung auf das Einkorngewicht 136, 139, 144, 145
—. Einfl. verschiedener Düngung auf den Ernteertrag 133, 144, 145, 146, 147, 154, 157, 158
—. Einfl. verschiedener Düngung auf den Kohlehydratgehalt 139, 150, 156, 162, 163
—. Einfl. versch. Düngung auf den Rohfasergehalt . 152
—. Einfl. verschiedener Düngung auf den Stärke- u. Eiweißertrag 143, 152, 153, 156, 157, 163
—. Einfl. verschiedener Düngung auf den Stickstoffgehalt . 130, 136, 137, 147, 148, 155, 161
—. Mehltaubefall bei . 132
—. Phosphatschaden bei . . 132
Gerstenkorn. Chem. Zusammensetzung des 129, 172
— als Reservestoffbehälter . 139
Gerstensorten. Bethge u. Oelze XIII 130
—. v. Lochows Petkuser Gelbhafer 130
Gerstenstärke. Spez. Drehungswinkel für 177
Gesamtkornernte bei Düngungsvers. . . . 140, 145, 146
Gesamtstickstoff in der Jauche 307, 308
Gespinstpflanzen. Eiweiß- und Ölgehalt in 70
—. Ernteergebnisse von Mangelversuchen 34, 35, 37
—. Kalzium- und Magnesiummangel bei . . . . 32 ff
Getreidekorn. Einfl. der Düngung auf:
Kohlehydratgeh. . . . 129
Mehlkörper 129
Qualität 129
Rohfaser 129
Stärke 142, 143
Stickstoffgeh. 129, 172
Giesecke, F.: Fettbildung im Leinsamen 67, 71
—. Nitrifikationsversuche . . . 10
—. Wirkung des Kalkstickstoffs im Vergl. zu versch. N-Düngern 31, 288

Giesecke, F.: Zusammensetzg. u. Hykroskopizität eines Bodens 31
Gipszusatz. N-erhaltende Wirkung des —es 297
Glathe, H.: Die Rotte des Stalldüngers 119, 121, 383
Gliadin als Eiweißbestandteil . 183
Globulin als Eiweißbestandteil . 183
Glühverlustmethode zur Bestimmung der organ. Substanz . . 374
Glukoronsäure 86
Glukose. N-Bindung im Boden bei Gegenw. von — 230
Glutamin. Hydrolyse von — 131
Glutenin als Eiweißbestandteil 183
Goeze, G.: Unters. an Getreideblättern . . . 207, 219, 314
Goldschmidt, V. M.: Zur Geochemie des Bors . . 222
Gräser. Keimungsphysiologie der — 174
Grauhuminsäuren. Bildg. von — 96, 100
Gregory, F. G.: Physiol. Studien über Pflanzenernährung 173, 191, 221
Grenzwert der Chlorosebildung bei Sand- und Wasserkultur 75
Grüntuch. N-Stoffwechsel eines unterirdischen Reservestoffbehälters 142, 173
Grunddüngung für Vers. mit Sommerweizen . 176

Haas, A. R. C. . . 169, 174
Hafer. Antagon. Erscheing. bei Kationenaufnahme des 173
—. Einfl. der Kali-Düngung auf:
Einkorngewicht 134, 144, 145, 164
Eiweißgehalt 152, 153
Ertrag 145, 146
Kohlehydratgehalt . . . 151
Stickstoffgehalt . . 148, 149
—. Einfl. der Magnesium-Düngung auf:
Erträge 160
Kohlehydrate 164
Kornbeschaffenheit . . . 157
Stärkegehalt 163
Stickstoffgehalt . . 160, 161, 162
—. Mehltaubefall bei — . . . 132
—. Phosphatschaden bei der Kalzium-Düngung 132
—. Einfl. der Stickstoff-Düng. auf:
Kohlehydratgeh. 141
Kornbeschaffenheit . . 135, 138
Stärke-Eiweiß-Verhältnis . . 143
Stickstoffgehalt 137
Zuckergehalt 142
— als Versuchspflanze für Lysimeterversuche . . . 49, 50, 51
Haines, W.: Leitfähigkeit des Bodens 4, 10
Hanf als Versuchspflanze für Mangelerscheinungen 33, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 44
Hansteen-Cranner: Verhalten d. Kulturpflanzen zu den Bodensalzen 170, 174
Harn. N-Gehalt im — 305, 306, 307, 308, 310, 315
—. Reaktion des — . . . 306, 307
—. Trockensubstanzgehalt im — 310, 311
—. Untersuchung von — . . . 305
Harnstoff. Ammonifikation d. — 287
—. Bildung aus Ammonnitrat im Boden 32
—. Bildung von — bei der Umwandlung von Zyanamid . . 18
—. Nitrifikation bei — . . 10
— als N-Dünger 49
—. Umsatz des — 293
—. Zusatz zu Ammonkarbonat . 326
Harnstoffnitrit. Bildung bei der Denitrifikation 22
Harnstoffzersetzung zu Ammoniumkarbonat 307
— durch Gärung 303
—. Vermeidung durch Superphosphat 306, 308
Heideerde „Mann“. Untersuchung der 348, 355, 367, 372, 373, 374, 381
Heideerdegemisch „Engler“ f. Dämpfungsversuche . 361, 380
Heidesand für Düngungsversuche 79
Heinrich: Kalkdüngungsversuche zu Lupinen 78, 83, 289, 302
Hektolitergewicht bei Kopfdüngung mit versch. N-Düngern 53, 54, 55, 57, 63, 64
Hellriegel, H.: Vegetationsvers. über Kalibedarf einig. Pflanzen 188, 220
Hemizellulose. Bestimmg. d. 86
—. Bildg. von — bei Verrottung 103
—. Lösung durch Säurebehandlg. 105
Hiltner, L.: Bakterienflora des Ackerbodens 340, 383
Hilpert: Ligninbestimmung 87, 120, 340
Hoagland: A-Z-Lösung nach — 33
Hochmoortorf. Gehalt an Humusstoffen 101
Hock: Charakterisierung von Humusform und Humustyp 120, 121
—. Kalkbestimmungsgerät n. — 253
—. Stallmistaufschlüsse 90
Honcamp, F.. . . . 289, 296, 302

Hornmehl als Kompostzusatz 360, 368
Humine in degrad. Braunerde . 101
— im Ortstein-Horizont . . . 101
Humingehalt versch. Böden . . 101
Huminsäure. Bestimmung der — 110, 317, 324, 332, 339
—. Festlegung durch Braunkohlenasche 114
— im Frischmist 87
— Merck als Standardlösung 90, 110, 324, 325
—quotient 85
—. Reifegrad der — 110
—. Studien über — 384
—. Moleküle Abbau der — . . 104
—. Typen-Charakterisierung d. — 92, 96, 97, 99, 107, 120
Humifizierung in Beziehung z. Farbvertiefung bei Extrakten 99
—, künstliche 87, 91
—. Reaktionsverh. bei der — . 325 von Thomasmehlkompost und von Superphosphatkompost . 338
—vorgang 96, 101, 102, 103, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 120
—zustand. Methoden zur Ermittlung des — 84, 89, 90, 108, 115, 118
Humoligninsäure. Bildung v. — 93, 99, 108, 115
— als Derivat des Lignins . 86
—. Einfluß der — auf d. Farbwert 87
Humosilikate. Einfl. d. — auf d. kolorimetrischen Wert . . . 87
Humus als wirksame Bodenkraft 316
—. Einfl. des — auf die Bodeneigenschaften 3
—. Einfl. des — auf den Leitungswiderstand 5, 9
— als Mittel zur Phosphorsäurefestlegung 9
—. Sorptionskraft des — . . . 5
—bestimmung nach Keyßner . . 46
—düngemittel. Beurteilung der — 84
— durch Kompostierung von Jauchetorf 317, 318
—extrakt. Messung der Farbtiefe eines —es 89
—farbtyp, brauner 95
—körper. Hydrolyse von — . 88
—kohle. Gehalt im Stallmist 98, 111, 112, 113, 119
komplex Entbastung des —es 119
Humusstoffe als Nahrsubstrat für Bakterien 367
—. Eisenhumuskomplex . . . 88
—. Leicht zersetzbare — des Bodens 345
—. Peptisierbarkeit der — . 108
— im Stallmist 84
—. Verbrauch an Permanganat . 106
Humussubstanz. Gehalt in Schwarzerdeböden 317
Hutchinson, H. B.: Partielle Sterilisation 340, 383
Hydratation der Plasmakolloide, Beeinfl. durch Kalimangel . . 156
Hydrolyse von Humuskörpern 88
— von Trikalziumphosphat 121, 122, 123, 124
Hydrolyt. Azidität in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 373
Hydroxyde. Wirkung auf die Chlorose 72
Hydroxylapatit. Darstellg. aus Dikalziumphosphat 121, 122, 125, 126, 127, 128
. Hydrolyse von — . . 124, 125
Hydrozellulose. Derivate der Zellulose 86
Hymatomelansäure . . 93, 95

Jacob, A.: Einfl. von K auf chem. Zusammensetzung der Ernteprodukte 149, 173, 189, 193, 220
James, W. O.: Physiol. Bedeutung der Mineralstoffe in der Pflanze 189, 220
Jauche. Gesamt-N in der — 307, 308
—. Kali-Ausnutzung bei der . 330
—. Nährstoff-Ausnutzung bei — 336
—. Nährstoffverbesserung durch Superphosphatzusatz . . 318
—. Nährstoffverhältnis in der — 290, 327
. N-Erhaltung durch Superphosphat 290
. N-Gehalt der — 293, 295, 297, 300, 301, 320, 326, 334, 337
—. N-Verluste in der — 297, 302, 315, 318, 320
P_2O_5-Gehalt in der — 301, 308, 309
— Reaktion der — 307
. Vergl. mit Kompostdünger . 328
. Vergleich zu Mineraldüngung 302
— als Volldünger durch Phosphorsäurezusatz 53, 303
. Zusammensetzung der . . 293
—. Behandlung im Vergleich mit Jauchekompostierung . . . 319
—gewinnung. Stickstoffverluste bei der — 289
konservierungsversuche 292, 298ff., 303ff.
—lagerung. N-Verluste bei der — 292
—stickstoff. Einfl auf Roheiweißertrag 335
Jauchetorf . . 314, 315, 318, 326
—. Gewicht von — . . . 310, 311
—. Lagerungsversuche mit — . 291

Jauchetorf. Kompostierung zu Humusdünger 318, 319
—. Nährstoffgehalt im . . . 328
—. Phosphorsäuregehalt im — 312, 313
—. Reaktion des — . . . 311, 312
—. N-Gehalt im — 301, 312, 313, 314, 332
—. N-Verluste bei — . . 291, 302
Zur Herstellung von Torfkompost 290
—. Trockensubstanzgehalt im — 311, 312, 313, 314
— Verdunstung während der Lagerung 312
im Vergleich zu Mineraldüngung 302
Jauchetorfkompost. Düngerwirkung von — . . . 318, 328
—. Herstellung von — . 316, 318
—. Vergleich mit Fructopan und Nettolin 324
—ierung im Vergleich mit der üblichen Jauchebehandlung 319, 327
Jenkins. Ligninbestimmung . 120
Jessen, W.: Magnesiummangelerscheinungen . . . 178, 219
Jodlbaur. Nitratbestimmung n. — 340
Jodzahl. Beeinfl. durch Chlor und Sulfationen . . . 264
— Beeinflussung durch Kalidüngung 264, 278
—. Beeinfl. durch Magnesium . 265
Johnston, E. S. Wirkung des Bors auf das Wachstum der Tomate 208, 222
Jones, J. O. Bestimmung des Humifizierungsgrades . . . 383
Jugendchlorose. Abhängigkeit vom Kalkgehalt und von der Reaktion 71, 74

Kainit . . 259, 260, 261
als Grunddüngung 57
—. Vergl. mit 40%igem K-Düngesalz 220
— als Konservierungsmittel für Jauche 303
—. Einfl. auf morphol. Beschaffenheit des Leins 278
—. Einfl. auf Ertrag von Ölleins 263, 280
—. Einfl. auf die Stengeldicke des Faserleins 257, 258, 271, 272, 273, 275, 278, 280
Kalium, seine Rolle bei der Assimilation verschied. N-Formen durch Pflanzen 172, 221
—. Best. auf flammenphotometr. Wege 247
— in den Bodenkolloiden . . . 233
—. Wirkung seiner Salze auf die Chlorose 72
—. Einfl. auf Ertrag von Öllein 263
— als Mittel zur Leitungsverbesserung des Bodens 9
—. Organ. Leistung von — in der Pflanze 220
—. Einfl. auf die Photosynthese 216
—. Beteiligung an der Stofferzeugung der höheren Pflanze 174, 221
—. Wirkung auf die Zellkolloide 168
—. Rolle des — bei der Zuckersynthese . . . 189, 220, 221
—**-Ausnutzung** bei Stallmist 329, 330, 331, 338
bei Superphosphatkompost 336, 338
—**bikarbonat** als CO_2-Überträger in Blättern 169
—**chlorid** s. Chlorkali
—**-Dünger.** Kainit . . . 234, 236
Kalimagnesia 234, 236, 237, 238
Kalisalz (40%) 234, 236, 237, 238
Kaliumsulfat . 236, 237, 238, 247
—**düngung.** Arbeiten über — . 221
—. Einfl. auf die Größe der Aleuronzellen im Weizenkorn . . 194
—. Einfl. auf Stärke- und Eiweißhaushalt im Getreidekorn 152, 153, 168, 188
—. Einfl. auf Ertrag und Kornbeschaffenheit von Getreide 144, 145, 146, 147, 149, 166, 167, 168, 173, 175, 191
—. Einfl. auf den Kohlehydrathaushalt im Korn 150, 151, 187, 188
—. Einfl. auf den Rohfaser- und Aschegehalt im Korn 152, 192, 193
—. Einfl. auf den Stickstoffgehalt im Korn . 147, 148, 149, 189, 191
— Variationskurven der Korngewichte bei — 193
—. Einfl. auf Wurzel-Wachstum 147
—**-Entzug** durch versch. Pflanzen 239, 240
— **und Kalizufuhr** 239, 240, 246, 247
—. Schwankungsbreite bei der Best. des . . . 241, 242, 247
Kaliformen. Einfl. versch. — auf Ertrag von Faser, Stroh und Samen von Lein 257, 258 ff., 271 ff.
—. Einfl. auf die Jodzahl . 264, 278
Kaliumgehalt der Böden, Abnahme des — 241, 247
— in der Superphosphat-Jauche 308, 309, 327, 328
Kalihaushalt. Veränderung im — des Bodens . 233, 241, 247
Kalium. Kalzium-Antagonismus 156, 169

Kalimangel. Einfl. auf die Beschaffenheit des Getreidekorns 129, 148, 171, 187, 190, 216
—**magnesia.** Einfl. auf die Stengeldicke des Faserleins 271, 272, 273, 277, 280
—. Einfl. auf die Hydratation der Plasmakolloide 156
und Kohlehydratstoffwechsel 151, 152, 171
—. Intensität der CO_2-Assimilation bei — 168
—. Einfl. auf den Mineralstoffgehalt 193
—. N-Gehalt der Körner bei — 146, 151, 152
—. Einfl. auf die Pflanzen 45, 215
. Einfl. auf den Stärkegehalt . 150
—. Einfl. auf die Transpiration . 169
—. Einfl. auf das Wachstum von Wurzel und Sproß 147
—. Einfl. auf die Wasserbilanz der Zelle 156
—**-Minerale.** Mikrolin . . . 234
Muskovit 234
Orthoklas 234
Kaliumnitrat als Nährlösung 32
Kalisalze. Zusammensetzung verschiedener — 259
—**sulfat.** Einfl. auf morphol. Beschaffenheit bei Lein 259, 263, 274, 277, 278, 279
vorrat des Bodens . 232
—**wirkung** bei versch. Humusdünger 330, 331, 333
Kalk. Wirkung des — auf die Mikroflora 29
—**ammonsalpeter** als N-Dünger 46, 47, 53, 54 ff.
—**bestimmung** nach der Kohlensäuremethode 254
—**bestimmungsgerät** nach Hock 253, 254
— nach Schnell . . . 252, 253
— nach Wolff 253, 254
—**chlorose.** Ursache der — 79, 81, 83
—**empfindlichkeit** der Lupine 78, 82, 83, 84
—**frage** 232
—**gehalt.** Einfl. auf Chlorosebildung 73, 74, 79
—**harnstoff** 282, 283, 284, 285, 286
—**humat.** Zerlegung durch Säurebehandlung 98
menge in Kalkstickstoff . 11, 13
—**stickstoff.** Kohlenstoff des — 24
salpeter als N-Dünger 46, 47, 48, 49, 57, 61, 282, 283, 284, 286
—**salze.** Vegetabilischer Nährwert der — 221
—**zustand** des Bodens 70
—. Wichtigkeit für Ölfruchtanbau 69
—**zusatz** zu Superphosphatkompost 326
—**stickstoff.** Umwandlung zu Ammoniak-N 10, 14, 17, 27, 28, 29
—. Kalkgehalt des — . . 11, 13
. Einfl. auf die Mikroflora im Boden 32
—. Nitratbildung aus — 10, 14, 28
. Nitrifikation bei . . . 10
— als Stickstoffdünger . . 11, 13 ff.
—. Stickstoffverlust des — . . 18
—. Umwandlung in Harnstoff-N 17, 18, 30
—umsetzung im Boden . . 10, 14
—, seine Wirkung im Vergl. mit anderen N-Düngern . 280, 281
—. Zerfall in Zyanamid und Kalziumhydroxyd 287
Kalzium. Wirkung seiner Salze auf die Chlorose . . . 72
. Einfl. auf die Aleuronzellen des Weizenkorns . 199
Einfl. auf den Mehlkörper im Getreidekorn 200
— Magnesium-Antagonismus . 169
cyanamid-Umwandlung . . 11
-Düngung. Einfl. auf die Größe der Aleuronzellen . . . 200
—. Einfl. auf den Aschegehalt im Weizenkorn 198
. Einfl. auf CO_2-Assimilation . 170
—. Einfl. auf den Chlorophyllgehalt . . 170
. Einfl. auf die Erträge und Kornbeschaffenheit bei Getreide 154, 170, 172, 177, 194, 195, 198, 199, 200, 216, 218, 219
— Einfl. auf den Kohlehydratgehalt im Getreidekorn 156, 196
Phosphatschaden bei Gerste und Hafer 132
— Einfl. auf den Rohfasergehalt im Korn 156
. Einfl. auf den Stärkehaushalt im Korn . 156, 157, 195, 196
—. Einfl. auf den Stickstoffgehalt im Korn 155, 196, 197
— Einfl. auf die Transpiration . 170
Kalziumkarbonat. Bestimmung nach Scheibler 12
— als Kalk-Gabe 13
—. Kohlensäuregehalt des . 126
— als Urtitersubstanz 125
Kalziummangel. Einfl. auf Öl- und Gespinstpflanzen 33, 35, 38, 44
—. Wurzelentwicklung verschied. Pflanzen bei — 33, 38
Kalziumnitrit. Bildung aus NO, mit Bodenfeuchtigkeit u. Kalk 229

Kalziumphosphat. Absorptionsfähigkeit von — 122
—. Fällungsbedingungen des sauren und neutralen — 121
—. Hydrolyse von . . 124, 128
— als Nährlösung . . . 32, 122
—. Reaktionsgleichgewichte . . 122
Kapillarwasser 4
Kappen, H.: Chem. Veränderung des Kalkstickstoffs bei der Düngung 288, 373
—. Zersetzung des Zyanamids . 31
Karbonatwirkung als Ursache der Kalkempfindlichkeit . 72, 78
Kartoffeln als Versuchspflanze bei Lysimeterversuchen 49, 50, 51
Kartoffelstärke. Quantit. Bestimmung der Korngröße der — 220
Kasseler Braun . . 92, 99, 101
Katalyt. Wirkung gew. Bodenbestandteile . . . 18
Kaufmann, A.: Umwandlung von Ammonnitrat u. Harnstoff im Boden 32
Keese. Versuche mit Raps und Rübsen 69, 71
Keimling. Eiweißsubstanzen des — . . 183
Keimungsphysiologie d. Gräser 171
Keimversuche. Spezif. Zuckerwirkung bei . . 83
Keimzahl in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 365
— in Abhängigkeit vom Protozoengehalt . . . 370
— der sporenbildenden Bakterien, Bestimmung der . . . 344
Keimzählung nach der Plattengußmethode . . . 343
Kette. Die Lupine als Feldfrucht 83
Keyßner. Humusbest. nach . 46
Kindt: Phosphorsäurefällung 121, 122, 128
Kisser, J.: Unters. über Nährsalz-Empfl. 170, 174
Kjeldahl. N-Bestimmung nach 110, 224, 345
Kleber im Weizenkorn . . 181
Kleberpest des Weizens . . . 220
Kleeberger, W.: Unters. über den Reifevorgang . . . 66, 70
Klein, G.: Handbuch f. Pflanzenanalysen 173, 183, 220
Klimaregulator nach Schnell 255
Knochenmehl als Kompostzusatz 368
Knop. Adsorptionsbestimmung nach — 11, 12
Knowles, F.: Versuche zu Weizen 182, 220
Köhn. Pipettmethode nach — . 11
König, J.: Unters. landw. u. gewerbl. wichtiger Stoffe . . . 32
Koffmann, M.: Die Mikrofauna des Bodens 383
Kohlehydrate als Energiestoffe 227
—. Bildung von ligninartig. Subst. aus — 87
—. Photochem. Synthese der — 174
— und N-Stoffwechsel. Gegenseitige Beeinflussung im Korn 167
—stoffwechsel u. Kalimangel 151, 152
—. Zersetzung durch Mikroben . 317
—gehalt im Getreidekorn 129, 139, 141, 156, 179
—gehalt im Weizenkorn bei Bordüngung 208
—gehalt im Getreidekorn bei Kalidüngung 150, 151, 152, 171, 187, 189, 196
—gehalt im Getreidekorn bei Magnesiumdüngung 162, 163, 164, 201
—zersetzer. Beeinflussung durch Dämpfung 373
Kohlendioxyd. Aktivierung durch Absorption an der Blattoberfläche 228
Kohlensäureassimilation . . 226
— Intensität der — . . . 168
— und Stickstoffhaushalt bei gestaffelter Kaligabe . . 174, 221
—. Beeinflussung durch Kalziumdüngung 170
—. Beeinflussung durch gestaffelte Magnesiumdüngung 163, 169
— bei Stickstoffmangel . . . 168
Kohlensäureaufnahme. Einwirkung von Kali auf die — . . 174
Kohlensäuregehalt v. Dikalziumphosphat u. Kalziumkarbonat . 126
Kohlensäuremethode. Kalkbest. nach der — 254
Kohlenstoff. Bildung aus Mannit 343
—gehalt des Bodens . . . 11
Kolorimeter. Lichtelektrisches — nach Lange 324, 325
Kolorimetrische Methode zur Ermittlung d. Humifizierungszustandes 84, 120, 324
— Werte nach Azetylbromidbehandlung . . . 87, 104, 107, 117
Komplexanalyse z. Bestimmung der Stoffgruppen 86
Kompost. Bakterientätigkeit i. — 322, 325
—. Kaliausnutzung bei d. Jauche 330, 331, 338
—. Nitrifikation im — . . 321, 323
—. Nitritbildner im — . . 321, 323
—. P_2O_5-Ausnutzung bei — 332, 338
—. Reaktion im — . . . 321, 325

Kompost. Unters. auf Nährstoffgehalt 323, 336
—. Zersetzung organ. Materials im — 324, 325
—. Pflanzenphysiol. Wirkg. d. — 328
—**dünger.** Gesamtbewertung im Feldversuch 332
— im Vergleich mit Mineraldünger, Jauche u. Stallmist 328, 332
Komposterde „Donner" 352, 356, 357, 362
— „Richter". Unters. der — 346, 347
Kompostierung von Jauchetorf 318, 319
—. Nitratbildung bei der — . . 338
—. N-Umsetzungen während der — . . 318, 319, 320, 321, 327, 334, 337, 338
. Vergl. d. Wirkung von Superphosphat u. Thomasmehl . . 337
Kompostuntersuchungen 321, 323, 329, 339
Konservierungsversuche mit Jauche 292, 300, 303
Konstitution melaninartig. Körper 86
Kontaktthermometer zur Steuerung der Temperaturregelungsanlage 255
Konzentrationsreihen. Versuche in Form von — 77, 79
Kopeloff, N.: Über Bodensterilisation 383
Kopfdüngungsversuche. Reaktionsbestimmungen bei — 62, 64, 69
— zu Winterölfrüchten 52ff., 60, 61ff., 70
Kordatzki. Lyometer nach — zur elektr. Leitfähigkeitsuntersuchung. 2
Kornertrag u. Kornbeschaffenheit im Weizen bei Bordüngung . . . 207, 208, 212
— im Weizen bei Kalidüngung 191, 193, 199
— im Weizen bei Kalziumdüngung 170, 198, 200, 217
— bei Getreide bei Magnesiumdüngung . . . 160, 201, 295
— im Getreide bei Stickstoffdüngung . . . 57, 58, 137, 215
Korn- und Strohertrag bei Düngung mit versch. Humusdüngern 335
Korn : Stroh-Verhältnis bei Faserlein, Einfl. von Kalimangel 260
Kornerträge von Öllein beim Kaliformenversuch 264
— bei Kopfdüngungsvers. 63, 64, 65, 70
Kreispolarimeter nach Zeiß für Stärkebest. 131
Kühne, G.: Werkzeuge z. Bodenbearbeitung 10
Kunze: Säureausscheidungen bei Wurzeln u. Pilzhyphen . . . 83

Lagerungsversuche mit Jauchetorf 291
Lange, B.: Lichtelektr. Kolorimeter nach — 324, 325
Larsen, P.: Analyse vermind. Stoffproduktion bei N-Mangel 216, 219, 314
Lauberde „Donner" 350, 370, 373
Laugeeffekt 99
Laugeextraktion . . 108, 113, 115
Lehmann, E.: Keimungsphysiologie der Gräser 174
Lehmboden. Kopfdüngungsversuche auf 29, 53, 56, 57, 64, 79
Lehm-Torfmull-Gemisch für Dampfungsversuche . . 358, 359
Leimkleber. Bildung bei N-Mangel 183
Lein. Beeinfl. durch Anionen u. Kationen 257
—. Beeinfl. durch Konzentrationsschäden 257
. Physiologie und Ernährung des — 70
. Versuche über den Ölgehalt des — 67
Leindotter als Versuchspflanze 33, 34, 36, 41
—. Einfl. von Ca-Mangel auf — 33
. Einfl. von Mg-Mangel auf — 40, 41
Leinöl, seine Beschaffenheit in Abhängigkeit von der Mineralsalzernährung 70
—. Sättigungsgrad des — . . . 264
Leinsamen. Fettbildung im — . 71
Leinstengel. Beeinfl. durch verschiedene Kaliformen 277
Leitfähigkeit des Bodens für elekrischen Strom 1ff., 9
— Einfluß des Feuchtigkeitszustandes auf die — 4
—. Einfluß der Pflegemaßnahmen auf die — 1, 3
. Einfluß der wanderungsfähigen Ionen auf die — 7
Leitungsverbesserung durch Kali 9
Leitungswiderstand versch. Bodentypen . . . . 1, 2ff.
—. Abhängigkeit vom Auslaugungsgrad des Bodens . . . 3
—. Änderung durch:
Bodenlagerung 6
Bodenlockerung 9
Düngung 7

Leitungswiderstand. Änderung durch Feuchtigkeitsgehalt . . 9
Humuszugabe 5, 6, 7, 9
KCl-Zugabe 9
Temperatur . . . 5, 7, 8, 9, 10
Lemmermann. Ernährungsunterschiede der Gramiceen und Leguminosen 83
Leuna-Montan als N-Dünger 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62
Leunasalpeter als Nährlösung 46, 47, 49
Lichtabsorption. Beeinflussung durch Wasserstoffionenkonzentration 97
Lichtelektrisches Kolorimeter nach Lange 324, 325
Lignin. Bestimmung des . 120
—. Derivate des — . . . 86
— als Pflanzenbaustein . . . 317
Ligningehalt im Mist 102, 110, 111
Ligninsäure. Bildung von in ungünst. Bodenverhältnissen 86 110
Lignohumine im Kasseler Braun 101
Lintner. Verfahren zur Best. des spez. Drehungswinkels . . 177
Löslichkeitszustand der Bodennährstoffe 234
Loew, O.: Physiol. Funktion der K- und Mg-Salze . 159, 169, 173
Lüdecke, H.: Düngungsversuch zu Gerste 146, 147, 151, 172, 189, 220
Luftabschluß durch Ölzusatz bei Jauchekonservierung 293, 294, 295, 296, 297, 301
Lundegårdh, H.: Nährstoffaufnahme der Pflanzen 158, 169, 173, 180, 188, 193, 220
Lupine. Versuche mit . 82, 83
—. Kalkempfindlichkeit der — 77, 78, 82, 83, 84
— Physiologie der — 82
—. Wachstumsbeeinflussung durch Mergelzusatz . . . 78
—. Wurzelsekrete der — . . 81, 82
Lupinus luteus. Abhängigkeit der Chlorose von der Reaktion . 75
—. Jugendchlorose der . . . 71
—. Reaktion in Wasserkultur . 76
—. Sandkulturversuch mit — . . 71
Lyometer nach Kordatzki zur Leitfähigkeitsuntersuchung . . 2
Lysimeterversuche mit versch. N-Düngern . . 45, 49, 50, 52
Märker: Vgl. von 40%igem K-Düngesalz u. Kainit . . 189, 220
Magnesia usta zur Bestimmung von Ammoniak-N . . . 345, 346
Magnesium. Bedeutg. für Chlorophyllsynthese . . 169, 202, 217
—. Wirkung seiner Salze auf die Chorose 72
—. Einfluß auf die Jodzahl . . 265
—. Bedeutung für das Ionengleichgewicht . . . . . . : 217
—. Einfl. auf die Intensität der Photosynthese 163
—. Einfl. auf Zustand der Plasmakolloide 217
—. Einfl. auf die Samenbildung des Leins 257
—düngung. Größe der Aleuronzellen beim Weizenkorn . . . 206
—. Einfl. auf den Aschegehalt im Getreidekorn . . . 204, 205
—. Einfl. auf die CO_2-Assimilation 163, 169
—. Einfl. auf den Kohlehydrathaushalt im Getreidekorn 162, 163, 164
—. Einfl. auf Ertrag und Kornbeschaffenheit versch. Getreidekörner 157, 158, 160, 175, 201, 204, 205, 219
—. Einfl. auf den Stärke- u. Zuckergehalt im Getreidekorn 163, 164, 202, 204
—. Einfl. auf den Stickstoffgehalt im Getreidekorn 160, 161, 162, 163, 165, 166, 202, 203, 204
—. Einfl. auf den Zuckergehalt im Getreidekorn . 163, 202, 203, 204
—mangel. Einfl. auf Öl- und Gespinstpflanzen 32, 38, 40, 41, 43, 44
—sulfat als Nährlösung . . . 32
Mais. Beeinfl. des prozentualen Eiweißgehaltes 170
— als Versuchspflanze für Lysimeterversuche . . 49, 50, 51
Makkus, W.: Das Düngemittel Kalkstickstoff 32
Malkomesius: Studien über Humussäuren 351, 384
Mangellösung nach Merkenschlager 32
Mangelversuche zu versch. Öl- u. Gespinstpflanzen 34, 35, 36, 39, 45, 167
Mannit als Kohlenstoffquelle . 343
Mehltauerscheinungen bei Gerste u. Hafer 132
Mehlkörper im Weizenkorn bei verschiedener Düngung . . 206
Melaninartige Körper, Konstitution der — 86
Merkenschlager: Kalkempfindlichkeit der Lupine 78, 79, 80, 82, 83
—. Mangellösung nach — . . 32
—: Tafeln von — 45
Mergel: Einfluß auf das Wachstum der Lupine 78

von Metzen: Stalldüngerlagerungsversuche 121
Mevius, W.: Ammonsalze u. Wasserstoffionenkonzentration . . 173
—: Kalzium-Ion und Wurzelwachstum 81, 83
—: Nitrite als N-Quellen für höhere Pflanzen 221
—: Reaktionsbestimmungen . . 76
Mikroanalyse, Organische . . 172
Mikrofauna des Bodens . 369, 383
Mikroflora des Bodens. Botan. Zusammensetzung der — . . 340
siehe auch Bakterien
—. Wirkung des Kalkes auf die — 29, 32
Mikrolin als Kali-Mineral im Boden 234
Mikroorganismen im Boden . 317
— als Faktor für Zyanamidabbau 27
—abtötung durch H_2S . . 339, 340
—. Beeinfl. durch den Sattigungsgrad des Bodens 379
—. Beeinfl. des Wachstums durch Dämpfung 381
— als Ursache des organ. Abbaus 324
Mineralboden. Humusstoffe im — 87
Mineralböden. Wasserkapazitätsbestimmung bei — . . . 2
Mineraldüngung 316, 317, 329, 330, 331
—. Einfl. auf Ertrag u. Kornbeschaffenheit von Sommerweizen 175
—. Einfl. auf Qualität der Ölfrüchte 264
—. Superphosphatwirkung bei 337
— im Vergleich zu Jauchetorf u. Jauche 302
—. Kali-Ausnutzung bei der — 330, 331, 338
—. Nährstoff-Ausnutzung bei — 336
—. Stickstoffwirkung der — . . 328
Mineraldünger. P_2O_5-Ausnutzung bei — 332, 338
— im Vergleich mit Kompostdünger 328
Mineralisation des organ. gebundenen Stickstoffs 28, 29, 285, 330
Mineralstoffe. Bedeutung für das Pflanzenwachstum . . 316, 317
— als Reizstoffe für den Boden 316
Mineralstoffgehalt. Beeinflussung durch Kalimangel . . . 193
—. Beeinflussung durch NH_3-Salze und Nitrate 166
Mist. Pufferung und Wasserlöslichkeit von — 117
—. Reifegrad des — es 95
Mitscherlich. Bodenunters. nach — 259, 277
Möhrlingsche Bodenmuhle . . 248
Monokalziumphosphat als Zusatz bei Leitungswiderstandsmessungen 8, 9
Monosen. Reduktionswerte der — 131
Morphologische Merkmale des Faserleins . . . 265, 266, 267ff
Moor. Chemie des —es . . . 120
Morris, H. S.: Physiol. Wirkg. des Bors beim Weizen . 206, 221, 229
Müdigkeitserscheinungen der Gewachshauserden . . . 339, 341
Müller, D.: Analyse der Stoffproduktion 173, 180, 181, 216, 219
Muskovit als Kali-Mineral im Boden 234

Nährboden. Herstellung von — 343
—. Reaktion des —s . . . 343
Nährlösung nach v. d. Crone . 32
Nährstoffaufnahme der Pflanze 173, 220
—ausnutzung versch. Humusdunger 336
—bilanz. Bodenuntersuchung und — 231, 234, 240
—entzug . . 238, 241, 242, 243
—e, mineralische 316
—gehalt im Jauchetorf . . 327, 328
—kontrolle durch Bodenuntersuchung 233
—mangel bei Öl- u. Gespinstpflanzen 32
—unters. im Kompost . . . 323
—verhaltnisse in der Jauche 290, 308, 309
Natrium. Wirkung seiner Salze auf die Chlorose . . . 72
—bisulfat als Konservierungsmittel fur Jauche . . . 303
—fluorid als Extraktionsmittel 91, 96
Natronsalpeter als N-Dunger 46, 47, 49
Nehring, K.: Erhaltung des N-Gehaltes der Jauche durch Superphosphat u. Torf . . . 339
Nematoden 357
Nerling, O.: Einfl. der Ernahrg. auf Zusammensetzg. d. Starke in Kartoffeln 187, 220
Nettolin. Vergleich mit Jauchetorfkompost 324
Neubauer: Bodenuntersuchungsmethode nach — 233, 234, 238, 242, 246, 247, 251, 258, 281, 332
Nielsen, N.: Stickstoffgehalt der Getreidekörner 172
Nightingale, G. T.: Wirkung von Ca-Mangel auf die Nitrat-Absorption in Tomaten 196, 198, 221

Niklewski: Humusversuche 118, 121
Nitrat. Einfluß auf die Chlorose 72
—. Einfluß auf Mineralstoffgehalt bei Samen 166
—bakterien im Boden 358
—bestimmung nach Jodlbaur . 346
—bildner im Boden . . . 15, 16ff.
— aus NH_3-Stickstoff . . . 27, 29
— aus Kalkstickstoff 10, 14, 28, 29, 30
— bei der Kompostierung 286, 323, 338
-stickstoff. Reduktion von . 340
. Stickstoffauswaschung als - 288
-. Beeinfl. durch Bodendampfung . . . 349, 350, 365, 375
—-Stickstoffgehalt im Boden . . 12
Nitrifikation von Ammoniakdünger . . . 10, 26, 18, 51
- im Boden . . . 351
in gedampftem Boden . 355, 363, 376, 382
-- von Harnstoff . . . 10
von Kalkstickstoff . . . 10
- im Kompost . . 321, 322
. Beeinfl. durch partielle Sterilisation 375
Bildung von Nitratstickstoff durch 286
Hemmung durch H_2S . . 339
Einfl. N-haltiger organ. Stoffe auf 32
bei der Vermischung von Jauchetorf mit Boden 318
sfähigkeit versch. Böden 10, 15, 27, 28, 30, 31
sorganismen. Physiologie der — 32
Nitrifizierende Bakterien 24, 26, 27, 29, 30, 31
Nitritbildner im Boden 22, 26, 28
im Kompost 323
Nitritbildung aus Ammonsulfat 26
— durch Bakterientätigkeit . . 338
aus Kalkstickstoff . . 14, 15
im Kompost 321
— im Superphosphatkompost . 337
— als Voraussetzung einer chem. Denitrifikation 22
Nitrite als N-Quellen für höhere Pflanzen 221
Nitrobakter im Boden . . . 24, 31
. Schädigung durch NH_3-Anhäufung 31
-. Schädigung durch Zyanamid 31
Nitrophoska. Düngung mit - 46, 47, 48, 49, 53, 56, 61
Nobbe, F.: Organ. Leistung des K in der Pflanze 189, 220, 257
Noll, F.: Bodendampfung 380, 383, 384
Normann: Ligninbestimmung nach - 87, 120
Nostitz, A. von: Wasserkapazitätsbest. bei Mineralböden 1, 10
Oberflächenspannung d. Bodenteilchen 1
Odén: Reaktionsbestimmungen an Extraktionsmitteln 94
Ölfrüchte. Wichtigkeit des Kalkzustand für den Anbau von — 69
Ölgehalt. Zunahme während des Reifevorganges . . . 65, 66, 70
Öllein als Versuchspflanze für Mangelerscheinungen 33, 35, 37, 38, 41, 43
. Ergebnisse der Versuche mit versch. Kaliformen . . 262, 263
--. Wertbildende Merkmale des Korns von -- 263
Ölpflanzen. N-Kopfdüngungsversuch zu Winter--- . . 52 ff.
Ölrettich als Versuchspflanze 33, 34, 36, 38, 39, 40
Ölzusatz zum Luftabschluß bei Jauchekonservierung 293, 294 ff
Opitz, K.: Bedeutung des Nährstoffverhältn. bei der Düngung mit mineral. Düngemitteln . . 280
. Beiträge zur Kultur u. Züchtung des Leins 280
—. Kulturversuche mit Flachs . 280
Organische Substanz a. Hauptnährstoff des Bodens . . . 316
—. Beeinflussung durch Dampfung 377, 382
Bestimmung durch die Glühverlustmethode 374
- zur Entwicklung der Mikroorganismen 317, 367
—. Trennung durch Wasserstoffsuperoxyd 119
- . Untersuchung der - 84
--. Zersetzungsgrad der — . . 374
Orthoklas als Kalimineral im Boden 234
Ortstein-Horizont. Gehalt an Huminen 101
Osmun, A. V.: Vergl der Bakterienzahl in sterilisiert. u. unsterilisierten Böden . . 340, 383
Oxalsäure als Extraktionsmittel 90, 94, 95, 96
Oxydationswerte von Humusextrakten 339
Oxyde. Wirkung auf die Chlorose 72
Oxydimetrische Methode zur Ermittlung des Humifizierungszustandes 84
Oxyzellulose. Derivat d. Zellulose 86
Ozon. Bild. durch Lichtabsorption 227
--. Bildung kleinster Mengen — bei langs. Oxyd. von Metallen 230

Paech, K.: Über die Regulation des Eiweißumsatzes u. über den Zustand der proteol. Fermente 174, 190, 216, 221
Pagnoul (7) 339
Peptisierbarkeit von Humusstoffen 105, 108
Pentosane als Energiestoffe . . 227
Permanganat. Verbrauch der Humusstoffe an — . . 106, 115
— -**zahl** bei der Charakterisierung von Humusstoffen . . . 324, 325
Peters, Cl.: Zur Geochemie des Bors 207, 222
Petherbridge. Partielle Sterilisation 383
Pfaff, C.: Einfl. der Düngung auf Weizenqualität . 52, 172, 175, 219
Pfeiffer. Versuche über Kalkempfindlichkeit der Lupine 78, 83
Pflanzenhöhe des Faserleins. Beeinfl. durch versch. Kaliformendüngung 268, 270
wachstum. Beeinflussg. durch Bodendämpfung 379
— durch elektr. Strom angeregt 7
Pflegemaßnahmen. Einfl. der — auf die Leitfähigkeit des — . 3
Pflugkörper als negativer Pol . 1
Phenolschwefelsäure zur Reduktion von Nitrat 346
Phosphate. Kenntnis der — . . 121
—. Umsetzung der — in den Düngemitteln 128
—. Wirkung auf die Chlorose . 72
Phosphatschäden bei Hafer u. Gerste bei Kalzium-Düngung . 132
Phosphor, seine Rolle bei der Assimilation versch. N-Formen durch die Pflanze 221
Phosphorit 122
Phosphorsäure-Aufnahme . . 302
—-Ausnutzung bei versch. Humusdüngern . . . 332, 333, 337
— bei Kompost 338
— bei Mist 338
— -Mangelerscheinungen . . . 45
—. Bestimmung der — . . . 345
—. Kolorimetr. Bestimmung d. — 247
—. Düngerwirkung der . . 61
— als Extraktionsmittel . . . 90
—**düngung.** Beeinfl. der Stengeldicke des Faserleins durch — 266
—-Festlegung durch Humuszugabe 9
—**gehalt** in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 374
— in Jauchetorfkompost 312, 313, 314, 323, 328
— **wirkung** in der Jauche 301, 308, 327
Photochemie der N-Festlegung im Boden 222
-**oxydation.** Formaldehydbildg. bei der 231
— organ. Substanzen . . . 227
—**synthese** . . 168, 226, 227, 228
— und Atmung 228, 229
—. Beeinfl. durch Chlorophyll u. Chloroplastenanzahl . . . 229
—. Einfl. von N u. K auf die — 180, 181, 216, 222
von Formaldehyd 227
—. Intensität der — junger Weizenblätter 163, 196
—. $KHCO_3$ als Überträger bei — 169
—. Notwendigkeit von Sauerstoff bei der — 229
— der Zucker 191
-**zersetzung** des Wassers . . 228
pH-Wert. Einfl. auf die Chlorose 72, 73
Phytopathologische Organismen. Abtötung der — . . . 379
Pickerings, S. U.: Bodensterilisation 340, 383
Pilze in gedämpftem Boden 344, 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 371, 372
Pilzhyphen. Säureausscheidung bei — 83
— **tätigkeit** in Abhängigkeit von der Reaktion 372
Pipettmethode nach Kohn . 11
Pirson, A.: Unters. an Chlorella 168, 174
Pisarevsky, N. F.: Beobachtungen d. Reife an versch. Weizensorten 220
Plasmakolloide 172
—. Dehydratation der — . . . 169
—. Schädigung bei Nährstoffmangel . . 156, 169, 216, 217
Plattengußmethode. Keimzählung nach der — 343
Podsolnahe Böden. Leitungswiderstand — . . . 2, 3, 9
Polarimetrische Stärkebestimmung 131
Polarplanimeter zur Flächenausmessung 177
Polymerisation der Zucker . . 191
Polypeptide als Übergangsform bei Eiweißbildung 167
Polyuronide 86
Pommer, E.: Wirkung von Mg auf den Ernteertrag des Bodens 219
Pozdena. Stallmistaufschlüsse 90, 120
Pregl. Analysenmethode nach 131, 173
Prianischnikow, D.: Über den Aufbau und Abbau des Asparagins 173, 183, 215

Propsting. Einfl. mineral. Dungg. auf N-Haushalt des Gerstenkornes . . . . . 129ff., 172ff.
Proteingehalt des Leinsamens, Beeinfl. durch versch. Kaliformen 264
Protoplasmatischer Faktor . . 169
Protozoen. Beeinfl. durch Dampfung . . 368, 370, 371, 381, 382
—. Ernährung durch Bakterien . 341
—**gehalt.** Einfl. auf die Keimzahl 370
-**tätigkeit.** Einfl. auf die Keimzahl 366, 370
-**theorie** 341, 379
-**zahl** in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 353, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364
Pufferung versch. Mistarten . 117

Quadtratmeter-Vers. 234
Qualitätsbeeinfl. der Ölfruchte durch mineral Dungung . . 264
Qualitätsbeurteilung des Faserleins nach Dicker u. Langemaß 266

Rahn, H.. N-Stoffwechsel pflanzl. vegetat. Speicherorgane 173, 185, 220
—. Rohfaserbest. nach — . 131, 142
Raps. Einfl. von Mg-Mangel auf 38
Rathsack, K.. Wirkung d. Kalkstickstoffs im Vergl. zu anderen N-Düngemitteln . . . 281, 288
Reaktion. Einfl. auf Bakterienvermehrung 338, 347
- des Bodens bei Kopfdungungsversuchen 56, 57, 65, 70, 74, 78
. Exotherme Einleitg. der — . 223
des Harns 306, 307
d. Jauche, Beeinfl. durch Superphosphat 307, 311, 320
— im Kompost 321, 325
- des Nährbodens 343
—. Einfl. auf die Pilztatigkeit . . 372
des Superphosphates 306, 307, 329
- der wurzelnahen Zone . . . 77
—**smessungen** der Extraktionsmittel 59, 62, 68, 69, 80, 92, 93, 95, 97, 99, 105
mit der Chinhydronelektrode 117
— mit der Wasserstoffelektrode 92, 93
—**sverhältnis** im Boden, Beeinflussung durch Bodendampfung 344, 345, 367, 372
bei Versuchen über Chlorose 72, 75
— bei der Humifizierung . . . 325
- **swerte** bei der Neutralisation von Kalziumphosphat . 73, 127

Reduktionskraft der Glukose zur Berechnung d. Zuckerwerte 131
Reduktionswerte der Monosen 131
Rehm, S.: Einfl. der Borsaure auf Wachstum u. Salzaufn. von Impatiens balsamina . . 211, 222
Reifegrad der Huminsaure 110, 111
Reinapatitgehalt 127
Reinhold, J.: Bodendesinfektion 383
—. Kompostierung 339
Reis: Beeinflussung durch Bor 207, 217
Rest-Stickstoff. Verringerung durch zunehmende N-Gabe . 137
Rettgers Eier- Fleischnährboden zur Ermittlung anaerober Bakterien 344
Reuszer: Stallmistuntersuchungen 106, 121
Rhizosphärebakterien. Bedingungen fur die — 381
Richards, E. J.: Physiol. Studien uber Pflanzenernahrg. 191, 216, 221
Rippel, A.: Wirkung des K auf hohere Pflanzen . . . 147, 174
Rißmann, R.: Mineralstoffwechselversuch 169, 174
Rizinus als Versuchspflanze für Mangelerscheinungen 33, 35, 37, 38, 41, 44
Robinson, G. W.: Bestimmung des Humifizierungsgrades . . 384
Roemer, H.: Über den K-Bedarf einiger Pflanzen 220
Röntgenographie zu Strukturbestimmungen 122
Roheiweißertrag. Beeinfl. durch Jauchestickstoff . . 335, 336, 338
Rohfaserbestimmung nach Rahn 131
Rohfasergehalt im Getreidekorn bei versch. Dungung 129, 142, 152, 156, 164, 167, 192, 193
— als Bezugsgroße für N-Stoffwechsel 142
Rohfettgehalt bei Öllein beim Kaliformenversuch . 261, 264, 278
Rohhumus. Unters. von — 85, 88, 99
Rohproteinertrag bei Kaliformenversuchen zu Öllein 261, 278
— bei Kopfdungungsvers. 52, 53, 54, 55, 56, 58, 63, 65, 76
Ruhland, W.: Physiolog. organ. Sauren in grünen Pflanzen 166, 173, 174
Ruschmann, G.: Deutschl. Ernährung aus eigener Scholle . 339
Russell, E. J.: Boden u. Pflanze 129, 172
. Partielle Sterilisation . . . 383

Saatbeize. Uspulun als - . . 130

Sachs'scher Wurzelkasten nach Solberg 71, 75, 76
Sättigungsgrad des Bodens 378, 379
—. Rolle für das Wachstum der Mikroorganismen 379
Säureamide. Bildung in der höheren Pflanze 220
Säurevorbehandlung bei Extraktion 87, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 113, 115, 119
Säureausscheidungen bei Wurzeln und Pilzhyphen 83
Salpetrige Säure. Bildung aus reiner Luft in Gegenwart von ultraviol. Licht 229
Salzkonzentration. Erhöhung der — 4
—. Wirkung auf Chlorosebildung 72, 73
Samen. Eiweiß- und Ölgehalt im 67, 70
—. Fettgehalt der . . . 67, 69
—. Keimung der — durch Anregung mit elektrischem Strom 1
Samenbildung. Beeinflussung durch Magnesium 257
Samenertrag des Ölleins. Beeinflussung durch Kalimagnesia . 277
Samenkeimung. Beeinflussung durch Dampfung . . 380, 381
Samenstimulierung . . . 3
Sand. Kaligehalt des . . 73
Sandboden 15, 26
—, biolog. aktiver 51
— von Bornim 234
—. Leitungswiderstand von — 2, 3, 9
Sandkultur. Einsalzkultur bei — 72
—. Grenzwert der Chlorosebildung bei — 71, 76
Schädlingsbekämpfung. Methoden der — 383
Schander. Kalkempfindlichkeit d. Lupine 83, 84
Scharnagel: Düngungsversuch zu Weizen 175, 192, 219
Scharrer, K.: Wirkung des Bors auf das Pflanzenwachstum 206, 207, 209, 221
Scheibler: Kalziumkarbonatbestimmung nach — 12
Scheffer: Versuche mit Stallmist 86, 111, 120
Schieck: Assimilation u. Transpiration von Sommergerste 130, 172
Schkoljnik, M.: Borbedürfnis der Pflanzen 207, 221
Schlämmanalysen verschiedener Bodenarten 3
— nach Atterberg . . . 11
— nach Köhn 11
Schleede. Phosphorsäurefällung 121, 122, 128
Schmalfuß, K.: Der Abbau des Zyanamids 27, 31, 288
—. Das Kalium 147, 150, 168, 169, 172, 221
—. Nitrifikationsversuche . . 10, 11
—. Wirkung von Kalkstickstoff i. Vergl. zu versch. N-Düngern 31, 32, 288
—. Vergl. Unters. z. Beurteilung der Güte der Fasern im Leinstengel . . . 60, 70, 71, 280
Schmidt. Phosphorsäurefällung 121, 122
Schmitt, L.: Magnesiadüngungsfrage 173
Schneidewind, W.: Ernährung landw. Kulturpflanzen 155, 173, 195, 221, 340
Schnell, J.: Bodenzerkleinerungs- u. Siebmaschine nach — . . 250
—. Kalkbestimmungsgerät n. 252, 253
—. Kombinierter Schütteltisch nach — 254, 255
—. Klimaregulator nach — . . 255
Scholz: Chlorose der Lupine 84
Schreiner, O.: Die Chemie von sterilis. Böden . . 340, 383
Schreyers: Reagens z. Formaldehydbestimmung 227
Schribaux: 175, 219
Schroeder, J.: Organ. Leistung d. K in der Pflanze 220
Schropp, W.: Wirkung des Bors auf das Pflanzenwachstum 45, 221, 222
Schwab, G.: Bildung von Säureamiden in der höheren Pflanze 220
Schwarzerdeböden. Gehalt an stabilen Humussubstanzen 254, 317
Schwarzerdeähnliche Bodenbildungen. Leitungswiderstand — . 2, 3, 9
Schwartz, G.: Bodendämpfung als Kulturfaktor zur Bodenverbesserung 384
Schwefelkohlenstoff als Vernichter der Reblaus . . . 339
Schwefelsäure als Konservierungsmittel für Jauche . . . 303
Schwefelsäurehydrolyse für Stallmistuntersuchungen . . . 87
Schwefelwasserstoff. Wirkung auf Mikroorganismen . 339, 340
Schulze, C.: Bodensterilisation und Pflanzenwachstum . . . 383
—. Versuche über die Kalkempf. der Lupine 78, 84
Schütteltisch, kombinierter nach Schnell 254, 255
Sech als positiver Pol . . . 1

Sekera: Offene Fragen der Düngerberatung 84
—: Versuche über Reaktionsverh. 75
Selenreaktionsgemisch nach Wieninger 177
Selke, W.: Neue Möglichkeiten einer verstärkten N-Düngung zu Getreide 215, 222
Senf als Versuchspflanze für Mangelerscheinungen 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41
Sickerwasser-Untersuchungen 47, 48, 50, 51, 304
Siegel: Fluoridextraktion . . 90
—: Stallmistuntersuchungen 86, 107, 111, 115, 120, 121
Silikophosphate. Hydrolyse v 121
Simmermacher: Kalkempfindlichkeit der Lupine . . . 83
Simon, K.: Färbungen u. Oxydationswerte v. Humusextrakten 324, 339
—: Methoden der Stallmistuntersuchung 85, 86, 90, 106, 107, 120, 121
Smirnow, A. I.: Biochem. Eigentüml. des Alterns der Laubblätter . . 167, 174
Snow, A. G.: . . . 174
Sodalösung als Extraktionsmittel für Humusstoffe . . . 90, 108
Solberg: Versuche üb. Chlorose 75, 76
—: Versuche über Reaktionsbest. 81
—: Versuche über Wurzelausscheidungen 84
—: Sachssche Wurzelkasten n. — 71, 76
Sommerraps. Einfl. versch. Düngung auf das Korn von — 33, 34, 36, 38, 39, 40
Sommerrübsen. Einfl. versch. Düngung auf das Korn von — 33, 34, 36, 39, 40
Sommerweizen. Einfl. versch. Düngung auf das Korn des — 175, 177, 180
Sorption, totale. Bestimmung der — 11, 32
—skraft des Bodens in Abhängigk. vom Humusgehalt 5, 8
—s- u. Pufferungsvermögen von Bodensandgemisch 279, 317, 329
Souci: Chemie des Moores . 120
—: Versuche mit Humusstoffen 87, 90, 98, 102
Soxleth, F. v.: Forderung von — 289
Speichermann: Methoden der Stallmistuntersuchung . . . 85
Spezif. Drehungswinkel für Weizenstärke 177
Spezifische Wirkungen des N . 133
Sphagnum. Extraktion von — 90, 98, 101
Spoehr 228, 231
Sporenzahl in versch. Bodenarten 343, 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364, 368
Sprengel: Die Lehre vom Dünger 84
—: Versuche über Wurzelausscheidungen 80
Springer, U.: Beurteilung von Humusdüngern 119, 120
—: Ist der Begriff Huminsäuren heute noch berechtigt? . . . 339
Sproßgewichte versch. Pflanzen bei Mangelvers. 44, 45
Spurenelement. Bor als — . 33
Stärke. Aufbau aus den Zuckern 167
—: Eiweiß-Verh. im Getreidekorn bei versch. Düngung 142, 143, 152, 165
—bestimmung nach Wenglein 131, 177
—gehalt im Getreidekorn 129, 139, 140
— im Korn bei Kali-Düngung 150, 151, 153, 188, 192, 215
— im Korn bei Kalzium-Düngung 195, 196, 198
—haushalt. Beeinfl. durch:
Bor 211
Magnesium 163
Stickstoff 140
—zellen. Größe der — in Kartoffelknollen 187
— u. **Zuckergeh.** im Korn bei Bor-Düngung 209, 212
— im Korn bei Magnesium-Düngung 162, 164, 169, 202, 204
— im Korn bei Stickstoff-Düngung 143, 180
Stallmist als Granddünger 53, 61
— als Humuslieferant 84
-Düngung. Kali-Ausnutzung bei — 330, 331
—. Nährstoff-Ausnutzung . 85, 336
Stallmistdüngung. P_2O_5-Ausnutzung bei — 332
—. N-Wirkung bei 330, 333, 334, 337
Stallmistbereitung. . . . 109, 115
Stallmistgewinnung durch Einführung neuzeitl. Stapelverfahren 289
Stallmistunters. Aschegehalt 110, 112
mit Azetylbromid 88, 89
—. Gehalt an Grauhuminsäuren 111
—. Bestimmung der Huminsäuren 110, 112, 113
—. Gehalt an Humuskohle 112, 113
—. Kolorimetr. Wert 104

Stallmistunters. Ligningehalt 102, 110, 111, 112, 113
—. Methoden der — . 84, 85, 119
—. Kolorimetr. 120
—. Stoffgruppenanalyse . . . 120
—. Gehalt an organ. Substanz . 109
—. Relativer Farbwert 104
—. Humifizierungszahlen . . . 104
—. Gehalt an Uronsäurekomplexen 106
—. Vorbehandlung mit Salzsäure 87, 88, 89, 94
Stallmistveredlung. Bedeutung der — 317
Stapelung. Einfl. versch. Einstreu auf die — 109
—. N-Verluste während der — 305, 314, 315
Stapelverfahren zur Stallmistgewinnung 289
Starkey, R.: Partielle Sterilisation 341, 372, 383
Stebutt 42, 373
Stecklinge. Einfl. der Dämpfung auf die Bewurzelung der 380, 381
Steigerwald, E.: Einfl. von Cl u. Mg auf Öl- u. Faserertrag des Flachses . 257, 264, 280
Stengeldicke des Faserleins. Beeinfl. durch versch. Kalidünger 266, 267, 270ff
Stengellänge des Faserleins. Beeinfl. durch versch. Kaliformendüngung . . 268, 270
Sterilisation des Bodens. Wirkung auf das Pflanzenwachstum 383
—, partielle . . . 342
— durch Erhitzen . . . 340
— durch H_2S 340
— durch Toluolbehandlung . . 340
— durch Wasserdampf . . 340, 341
Sterz, M.: Kalkstickstoffumsetzungen im Boden . . 10
Stickstoff als Harnstoff . 289
—. Einfl. auf die Ausbildung der Zellwände 184
—. Einfl. auf die Größe der Aleuronzellen 187
—. Organ. Mineralisation des 28, 29
—. Spezifische Wirkungen des — 133
—**analysen** beim Weizenkorn . 181
—**anreicherung** in der Lupine . 78
—**aufnahme** bei versch. Düngern 301, 302
—**ausnutzung** bei Kompost 330, 337, 338
— bei Jauche . 337
— bei Mineraldüngung . . . 338
— bei Stallmist 337
— bei versch. N-Düngern 59, 62, 65, 67, 70, 284, 285
—**auswaschung** bei Ammoniak-, Amid- und Nitrat-Düngern 45, 47, 48, 49, 50, 286, 288
—**bestimmung** versch. Böden 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 46, 116, 130, 131
— nach Kjeldahl 116, 224
— bei Lysimeterversuchen 49
— nach Pregl 131
—**bindung** im Boden bei Gegenwart von Glukose 230
—**dünger,** kombonierte . 11, 68, 70
—. Einfl. auf den Aschegehalt im Korn 185
—. Einfl. auf Bestandesdichte bei Feldvers. 178
—. Einfl. auf die Bodenreaktion 286
—. Einfl. auf den Eiweißhaushalt im Getreidekorn 143, 144, 184
—. Einfl. auf die Erträge bei Getreide 132, 133, 134, 135, 178, 335
—. Einfl. auf den Kohlehydratgehalt im Getreidekorn 139, 141
—. Einfl. auf die Kornbeschaffenheit im Getreidekorn 135, 165, 166, 167, 168, 175, 184, 186, 215
—. Einfl. auf Roheiweißgehalt d. Korns . . 335, 338
—. Einfl. auf den Rohfasergehalt im Getreidekorn . . . 185
—. Einfl. auf den Stärkegehalt des Getreidekornes 140, 180, 184
—. Beeinfl. der Stengeldicke des Faserleins 266
—. Einfl. auf den N-Gehalt im Getreidekorn 136, 137, 138, 139, 301, 302
—. Variationskurven der Korngewichte 186
—. Einfl. auf den Zuckergehalt 180, 184
—. Unters. der Wirkung versch. 280, 281, 282
—**entzug** 283, 284, 285, 286
—**erhaltung** durch Gips . . . 297
— in der Jauche durch Zusätze 290
—**festlegung** im Boden in Form von Bakterieneiweiß . . 281, 286
— im Dunkeln 225, 226, 227, 229, 230
—. Einfl. des Lichtes auf die — 224, 226, 227, 229, 230
— und Photosynthese . 180, 222
—, symbiotische 224
—**formen** 11, 14
—. Umwandlung während der Kompostierung 318
—**gehalt.** Bestimmung nach Kjeldahl 345
— gedämpften Bodens 342

Stickstoff in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364
— des Bodens als Ursache für den Entwicklungsverlauf der Bakterien 367
— im Harn 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 315
— der Jauche 288, 290, 293, 295, 297, 298, 312, 313, 314, 320, 326, 332
— im Kompost . . . 320, 321, 329
— im Korn bei der Borreihe . 210
— im Korn bei Kaliumdüngung 146, 147, 148, 149, 189, 191
— im Korn bei Kalziumdüngung 155, 196, 197
— im Korn bei Magnesiumdüngung . . 160, 161, 162, 202, 203
— im Korn bei Stickstoffdüngung 136, 182
— des Nährbodens . . 343
— im Sickerwasser 49
— im Torf . 309, 319
Stickstoffhaushalt u. Kohlensäureassimilation bei gestaffelter K-Gabe 174, 220, 221
—**kalkphosphat** als Grunddgg 61
—**kopfdüngungsversuche** zu Winterölfrüchten 52ff
— zu Winterrübsen . 57, 58
— Ernteergebnisse 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61
—. Reaktionsbedingungen 59, 68
— Stickstoffausnutzung . . 65
—. Witterungseinflüsse . . 66
—**leistung** . . 49, 50
—**mangel.** Einfl. auf CO_2-Assimilation . 168
— Einfl. auf Entwicklungszustand der Pflanzen . 171
—. Einfl. auf Kornerzahl . 213
—**quellen.** Nitrite als — für höhere Pflanzen . . . 221
—**stoffwechsel** u. Ionenverhältnis . 132, 142, 151, 152, 167, 173
—**verbindungen.** Mineralisation der — 330
—**verlust** bei Jauchelagerung u. Gewinnung . . 291 ff.
— des Kalkstickstoffes . 19, 20
— bei der Kompostierung 323, 333, 338
— während der Stapelung 314, 315
—. Verminderung durch Superphosphat . 307, 308, 320, 322, 337
— beim Trocknen von Mist . . 116
—**umsatz** grüner Pflanzen 173, 220
—**umsetzungen** in der Jauche, Beeinfl. durch Superphosphat 292, 319
—**wirkung** d. Jauche, Beeinfl. durch Superphosphat 296, 328, 330, 334
Stimulierung. Samen- u. Wurzel-— 3
v. Stockhausen, H.: Wirkung von Mg auf den Ernteertrag des Bodens 219
Störmer, K.: Bakterienflora des Ackerbodens 340, 383
Stoffgruppenanalyse. Zur Ermittlung des Humifizierungszustandes . . 84, 86, 116, 120
Stoklasa, J.. Chem. Natur des Wurzelsekretes 84
— Fruchtbarkeitszustand des Bodens 367, 384
—. Photochem. Synthese d. Kohlehydrate 168, 174
Stone. Bodensterilisation . . 383
Strohertrag bei Kopfdüngungsversuchen 53, 54, 55, 56, 61, 64, 179
Stutzer, A., u. F. Reis. Beobachtungen über Kalkstickstoff . 31
Sulfat. Einfl. auf Ertrag u. Fasergehalt im Lein . 257, 258, 279
Sulfationen. Einfl. auf d. Jodzahl 264
Superphosphat als Grunddüngung. 57
— Reaktion des 306, 307, 329
—. Stickstofferhaltende Wirkg. d. . . . 308, 313, 337
—. Verminderung der NH_3-Verluste der Jauche . . . 319, 337
— als Zusatz bei der Jauchekonservierung 289, 290 ff., 303 ff., 326, 337
—**jauche.** Nährstoffverhältnis in der 308, 309
—. Kaligehalt in der — . . . 308
—**jauchetorf.** Gewicht des . 312
— Stickstoffgehalt des — . . 314
—**kompost.** 332
—. Humifizierung von — . . . 338
— Kaliausnutzung bei — . 336
— Kalkzusatz zu — 326
—, vergl. mit Mineraldünger . . 333
—, vergl. mit Thomasmehlkompost 337
Swanson, C. O.: Beeinfl. der Proteinmenge im Weizen 182, 220

Tamm, E.: Vgl. Unters. zur Beurteilung der Güte der Faser im Leinstengel 280
Tautomerie 94
Temperatur. Einfl. auf die Bakterientätigkeit . . 347, 348, 381
—. Einfl. der — auf den Leitungswiderstand 9
Thermophosphate. Hydrolyse von — 121
Thomasmehl als Grunddüngung 64
— als Zusatz bei der Kompostierung 318, 320, 321, 322
Thomasmehlkompost 326
—. Humifizierung von — . . . 338

Thomasmehlkompost. Nährstoffausnutzung bei — . . . 337
—. Vgl. mit Superphosphatkompost 337
Tiedjens, V. A.: 196, 221
Titrationsazidität. Bestimmung der — im Boden . . . 344, 345
Titrationsversuche, elektrometrische 81
Tobler, F.: Vgl. Unters. zur Beurteilung der Güte der Fasern in Leinstengel 280
Tödt: Indikatoren nach — . . 71
Tokuoko, M.: Die wachstumsfördernde Wirkung des Bors 207, 217, 222
Toluol als Sterilisationsmittel . 340
Tonbildung bei Humusextrakten 100
Tonlaikoff, N. M.: Beobachten der Reife bei versch. Weizensorten 182, 220
Torf. Superph. als Zusatz zu — 309
— als Basis für neue Humusquellen 317
—. Organ. Substanz im —. . . 319
als Zusatz zur Jauche 289, 290, 298, 299, 301
—. Trockensubstanz im —. . . 319
— Untersuchung von — 85, 88, 90
Torfhuminsäuren für Alkalihumatlösungen 98
Torfkompost. Herstellung aus Jauchetorf 290
Torfmull. Konservierende Wirkung des — 303, 304, 310, 312, 313, 314, 315
Transpiration. Beeinflussung durch versch. Düngung 169, 170, 172
Trikalziumphosphat. Hydrolyse von — . . 122, 123, 124, 127, 128
Trockensubstanz im Jauchetorf 311, 312, 313, 314, 319
— gehalt im Harn 310, 311
Turtschin. W.: Rolle des K bei der Assimilation versch. N-Formen durch die Pflanze 148, 172, 189, 190, 221

Umsetzungen. Mikrobielle — im Boden 15
Umsetzungsgeschwindigkeiten des Bodens 30, 31
Untersuchung. Chemische — an Boden 14
Uronsäurekomplexe im Stallmist 86, 106
Uspulun als Saatbeize 130

Vageler-Alten. Bodenuntersuchungsmethode nach — . . . 233
Vageler, P.: Sorptionsbestimmungen 11, 32
Variationskurven der Korngewichte bei verschiedener Düngung . . 177, 186, 193, 205, 212
Verrottung verschiedener Mistarten 85, 109, 117, 119
Verrottungsprozeß. Bildung von Umwandlungsprodukt. beim — 103
Vickery. Glutamin in den Blättern von Rhabarber 173
Visser, R.: Düngungsvers. mit — Sommerweizen 175, 219
Voelker, J. A.: Einfl. von B-Verb. auf Weizen und Gerste . 208, 222
Voigt. Methoden der Schädlingsbekämpfung 383
Vollsalzversuche 77
Volumgewicht. Bestimmung des — im Boden 344

Wagner, P.: . . . 289, 290, 302
Wahnschaffe'scher Zylinder 6, 10
Waksman, S. A.: Gegenw. Stand der Bodenmikrobiologie . . 384
—. Versuche mit der Komplexanalyse 89, 110
—: Partielle Sterilisation . . . 383
—: Platz der Huminsäuren in der Chemie des Humus . . 339
—: Stallmistunters. . . . 106, 121
Warington: Einfl. von Bor auf versch. Pflanzen 206, 208, 221, 339
Wasser. Aktivierung durch Absorption an der Blattoberfläche 228
— als Belegung eines Kondensators 1
— abgabe. Erhöhung durch Ca-Ionen 170
— aufnahme. Beeinfl. durch Ca . 170
— bilanz der Zelle. Beeinfl. durch Kalimangel 156
— dampfgehalt. Erhöhung durch Warmluftbefeuchtung 255
— haushalt. Beeinfl. durch Anionen u. Kationen 257
— hülle. Hygroskopische — . 1, 4
— kapazität versch. Böden 2, 4, 5, 6, 11, 12, 344
Beeinfl. durch Dämpfung 377, 378, 382
— in Komposterde 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364
— u. Zersetzungsgrad 378
— kultur. Mangelversuch in — 32, 34, 44
— löslichkeit versch. Mistarten 117, 118
— schicht. Ladung der . . . 1
Wasserstoffelektrode zur Reaktionsmessung 92

Wasserstoffionenkonzentration 71, 72, 81, 97, 117, 119, 173, 351
—. Bestimmung der — . . . 345
—. Bestimmung mit der Gaskettenmethode . . . 81
—. Einfl. auf Lichtabsorption . . 97
Wasserstoffsuperoxyd. Zur Zersetzung der organ. Masse des Bodens . . . 119, 345
Watkin, I. E.: Düngungsvers. zu Weizen 220
Wehrmann, O.: Wirkung von Mg auf den Ernteertrag des Bodens 219
Weigert, I. Kopfdüngungsversuche 69, 71
Weiko: Stamm von Lupinus luteus 71
Weinmann, H.: Gegens. Beeinfl. von N u. K bei Ernährg. der Sommergerste 221
Weizel, H.. Kopfdüngungsversuche . . . 69, 71
Weizen als Versuchspflanze für Lysimeterversuche . . 49, 50, 51
Weizenkorn. Größe d. Aleuronzellen im 187
—. Aschegehalt bei versched Düngung 184, 185
—. Beeinfl. von Güte und Ertrag bei Bor-Düngung 206, 207ff.
—. Beeinfl. von Güte, Ertrag u. Ernteergebnis bei Kali-Düngung 189, 191, 192, 193, 194
—. Beeinfl. von Güte, Ertrag u Ernteergebnis bei Kalzium-Düngung . . 194, 195ff
—. Klebergehalt im — 181
—. Kleberpest des 220
—. Beeinfl. von Güte, Ertrag u. Ernteergebnissen b. Magnesium-Düngung 202, 203ff.
—. Beeinfl. von Güte und Ertrag durch Stickstoffdüngung 181, 215
Weizenmehl. Backfähigkeit d. 187
Weizenstärke. Spezif. Drehungswinkel für . . . 177
Wenglein: Stärkebestimmung nach — 131, 177
Wiegner 42, 373
Wieninger: Selenreaktionsgemisch nach — 177
Wießmann: Ausgl. zw. künstl. u. natürl. Düngung 316, 339, 344, 345
Wilfarth, H.: Vegetationsbeobachtungen über den N-Bedarf einiger Pflanzen 220
Wimmer, G.: Über den K-Bedarf einiger Pflanzen . . 172, 220
Winterölfrüchte. N-Kopfdüngungsversuche zu — . . 52ff., 70
Winterraps. Versuche mit — 52, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 67, 69, 71
Winterrübsen. Kopfdüngungsversuch zu . . . 52, 57, 69
Witterungseinflüsse bei Kopfdüngungsversuchen . . . 66, 67
Wolff, H.: Kalkbestimmungsgerät nach — 254
Wolff, A.: Einfl. des Kalkstickstoffs auf die Mikroflora des Bodens 32
Wulff: Indikatorfolie nach — . 77
—: Kolorimeterfolien 71
Wurzeln. Reaktion in der Nähe der — 73
—. Säureausscheidungen bei — 83
Wurzel. Wachstumsbeeinflussung durch K-Düngung . . . 147
— u. Wachstum der — durch Anregung mit elektr. Strom . . 1
—ausscheidungen . . 80, 81, 82, 84
—gewicht bei Mangelversuchen 33, 38, 41, 44, 45
—kasten nach Solberg 71, 75, 76
—sekret Chem. Natur des —es 79, 81, 84
—stimulierung 3
—wachstum. Versuche über 1, 81, 147
Xylan, in den Verrottungsprodukten des Strohs 87
Xylose. Umwandlung zu ligninartigen Stoffen 87

Zellkolloide. Beeinfl. durch Kali 168
Zellstruktur des Leins. Beeinfl. durch Kainit 278, 279
Zellulose als Bezugsgröße für N-Stoffwechsel der Kartoffelknolle 142
— Bildung von Abkömmlingen der — bei Verrottung . . 103
—. Derivate der . . . 86
— als Energiestoffe 227
— bei Rohfaserbestimmung . . 131
—**oxydation** mit Hilfe des Sonnenlichtes 229
Zellvergrößerung durch KCl u. K_2SO_4 274
Zersetzung organischer Substanz 84, 108, 111, 120
— organischer Substanz bei der Kompostierung . 324, 325, 374
Zersetzungszustand von Stallmist 86, 95, 102, 103
—**grad** in versch. Bodenarten 347, 349, 350, 352, 354, 356, 357, 359, 360, 361, 363, 364

Zersetzungsgrad und Wasserkapazität 378
Zersetzungsvorgang des Kalkstickstoffs im Boden 10
Zervas, L. Eiweißstoffe . . . 220
Zitronensäure als Extraktionsmittel 90
Zöberlein. Stallmistuntersuchg. 86, 111, 120
Zucker. Photosynthese der — . 191
— **bestimmung** nach Bertrand . 131
— **hirse.** Rolle des K bei der Zuckersynthese in der — . . 221
— **gehalt** im Getreidekorn bei Bor-Düngung 209, 212
— bei Kalidüngung . 151, 188, 189
— bei Kalzium-Düngung 195, 196, 198
— bei Magnesium-Düngung 163, 202, 203, 204
— bei Stickstoff-Düngung 140, 142, 180
— **wirkung.** Spezifische — bei Keimversuchen 83
— **synthese.** Die Rolle des Kali bei der — der Zuckerhirse 172, 220
— **werte.** Berechnung der 129, 131, 151
Zusatzmittel zur Jauchekonservierung 298, 299, 300, 301, 302, 315
Zyanamid. Abbau des — 27, 31, 288
. Bildung aus Kalkstickstoff . 286
. Hydrolyse des — 287
. Polymerisation zu Dizyanamid 287
— als Schädigungsmittel für Nitrobakter 31
-Stickstoff im Boden 14, 16, 31
. Umwandlung zu Ammoniak-Stickstoff 17, 18, 30
—. Umwandlung zu Harnstoff 18
— als Zwischenprodukt bei der Kalkstickstoffumsetzung . . . 24
Zyklamenerde „Pillnitz" . 355, 356

Untersuchungen über die Leitfähigkeit des Bodens für elektrischen Strom.

Von **A. v. Nostitz,** Technische Hochschule München.

Eingegangen: 21. Oktober 1938.

Im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktionsförderung gehen Bestrebungen dahin, mit Hilfe des durch den Boden geleiteten elektrischen Stroms die Keimung der Samen oder auch das Wachstum der Wurzeln anzuregen. Namentlich sei jedoch auf die Untersuchungen von Kühne (1) mit Schlepperpflügen hingewiesen. Hier wird der Widerstand, welchen der Boden bei seiner Bearbeitung dem Pflug entgegensetzt, dadurch herabgemindert, daß ein elektrischer Strom etwa vom Sech als positivem Pol zu dem mit dem negativen Pol verbundenen Pflugkörper durch den Boden hindurchgesandt wird, so daß also dem Erdreich die Aufgabe der Leitung des elektrischen Stromes zufällt. Die hierbei erzielte Zugkraft-Energieersparnis betrug bei einer größeren Reihe von Versuchen zwischen 16—20 v. H.

Kühne erklärt diese interessante Erscheinung folgendermaßen: „Die Bodenkrümel und der größte Teil der fest an ihnen haftenden Wasserschicht sind nämlich negativ geladen, wogegen das übrige im Boden verteilte Wasser eine positive Ladung besitzt. Wenn man nun Boden und Wasser als Belegungen eines Kondensators auffaßt und dem Wasser positive Elektrizitätsträger zuführt, so wird der hygroskopischen Wasserschicht ein Teil der negativen Ladung genommen, und es werden die durch die negative Ladung der Bodenteilchen hervorgerufenen Adsorptionskräfte von den elektrostatischen Anziehungskräften überwunden. Die Oberflächenspannung der Bodenteilchen wächst, während sich die des Wassers verringert, weil die auf Dehnung wirkenden elektrischen Ladungen den zusammenziehenden Oberflächenspannungen entgegen wirken. Infolgedessen wird die Dicke der hygroskopischen Wasserhülle zunehmen und es muß sich die gegenseitige Reibung der Bodenteilchen verringern."

Aus allen derartigen Bestrebungen heraus erwächst dem Bodenkundler die Aufgabe, zu untersuchen, in welchem Größenverhältnis zueinander sich die Leitungswiderstände der verschiedenen Bodentypen bewegen. Zweitens war namentlich auch die Frage zu prüfen, wie sich die landwirtschaftlichen Pflegemaßnahmen auf die Leitfähigkeit eines gegebenen Bodens auswirken und weiterhin, welche Bodenbehandlungsverfahren geeignet sind, den Leitungswiderstand des Erdmaterials herabzumindern.

Die nachfolgenden Untersuchungen wurden im Laboratorium so ausgeführt, daß in besonderen Glasgefäßen jeweils eine bestimmte durch das 2-mm-Sieb gegebene Erdmenge (in der Regel 100 g) eingefüllt wurde. Durch diese wurde vermittels zwei in stets konstanter Entfernung gehaltener kleiner Platinelektroden der elektrische Strom hindurchgesandt und der Leitungswiderstand in Ohm gemessen. Die Untersuchungen fanden — soweit nichts anderes bemerkt — jeweils bei einer Bodentemperatur von genau 20° C statt, sowie aus Zweckmäßigkeitsgründen bei einem Wassergehalt, welcher 100% der Wasserkapazität des betreffenden Bodens entspricht. Diese war auf Grund

der in der Arbeit „Zur Frage der Wasserkapazitätsbestimmung bei Mineralböden“ (2) dargelegten Untersuchungen nicht nach Wolff-Wahnschaffe (3) ermittelt, sondern nach folgendem in der genannten Arbeit angegebenen Verfahren: 100 g lufttrockener Feinboden wurden in dünner nur etwa 1 cm hoher Schicht in einem 10 cm weiten Sieb mit Filtereinlage (unter Berücksichtigung der vom Filter selber zurückgehaltenen Feuchtigkeit) etwa 1,5 cm tief in Wasser eingestellt. Nach mindestens 24stündigem Weichen wurde das Sieb sorgfältig aus dem Wasser herausgehoben und abtropfen gelassen.

Die elektrischen Leitfähigkeitsuntersuchungen fanden statt vermittels eines mit Wechselstrom gespeisten Lyometers Z nach Kordatzki: Sie hatten die folgenden Ergebnisse.

I. Der elektrische Leitungswiderstand von Böden verschiedener Herkunft.

Zunächst wurde zur Erlangung einer allgemeinen Übersicht eine Anzahl klimatisch und geologisch verschiedener Böden auf ihre elektrische Leitfähigkeit untersucht. Und zwar wurden hierfür Waldböden ausgewählt, oder, wo dies nicht möglich war, wie z. B. bei den Schwarzerden, doch solche landwirtschaftliche Böden, die in einer extensiven Nutzung standen, so daß der Faktor „Kultureinfluß“ tunlichst ausgeschaltet war.

	Leitungswiderstand in Ohm
a) Schwarzerdeähnliche Bodenbildungen	
Schwarzerde Tambow	430
Schwarzerde Samara	810
Schwarzerde Magdeburger Börde 0—30 cm	980
Schwarzerde Magdeburger Börde 30—60 cm	880
Degradierte Schwarzerde Rußland	1130
Degradierte Schwarzerde Unterspießheim Unterfranken	1600
Löß Neuburg a. d. Donau Acker	1700
Löß Neuburg a. d. Donau Neurodung	1900
b) Braunerdeähnliche Böden.	
Diluvialboden Freising b. München	1500
Basaltboden Katzenbuckel Odenwald	1750
Glimmerschiefer Wondreb Oberpfalz	1900
Gneisboden Bodenmais Bayrischer Wald	2000
Rotlehm Tirschenreut Oberpfalz	2100
Buntsandstein Odenwald	2100
Diluvialboden München	2400
Alluvialboden München	2430
Keuperboden Pressat Oberpfalz	2750
c) Podsolnahe Böden.	
Diluvialer Lehmboden Freising b. München	3750
Burgsandsteinboden Schwabach Mittelfranken	4380
Diluvialer Lehmboden Amberg Mittelfranken	4750
Löß Gutenzell Württemberg	5100
Sandiger Lehm Doggerabschlämmung Vilseck Oberpfalz	5650
Lehmiger Sandboden Doggerabschlämmung Vilseck Oberpfalz	7200
Lehmiger Sandboden Doggerabschlämmung Vilseck Oberpfalz	10800
d) Sandböden	
Glimmersandboden Bayerischer Wald	2400
Quarzsandboden Bayerischer Wald	3900
Gneisverwitterung Ohlensengrund Sachsen	4100
Gneisverwitterung Glashütte Sachsen	5250
Diluvialer Sand Gelchsheim Unterfranken	6010
Grusig-sandige Syenitverwitterung Lauenstein Sachsen	12000

Der Leitungswiderstand für den elektrischen Strom wies also bei den Untersuchungen sehr starke Unterschiede auf, so daß dieselbe elektrische Bodenbehandlung z. B. bei der Samen- und Wurzelstimulierung bei verschiedenen Grundstücken zu weitgehend ungleichen Resultaten führen kann. Während sich der Leitungswiderstand bei den halbhumiden Schwarzerden um 1000 Ohm und darunter bewegte, stieg er bei den unter humidem Klima liegenden Braunerden auf rund 2—3000 Ohm an, um bei den podsoligen Böden 4—7000 Ohm und mehr zu erreichen. Die ausgesprochenen Sandböden wurden als eigene Gruppe zusammengefaßt. Infolge ihres Mangels an sorbierenden Bestandteilen werden ihre gelösten Verwitterungsprodukte oder die ihnen durch die Düngung zugeführten Ionen auch unter mäßig humidem Klima immer wieder rasch ausgewaschen, so daß sie sich in ihren elektrischen Leitfähigkeitsverhältnissen ebenso ungünstig verhalten wie die Podsole.

Bei obigen Versuchen war also der Leitungswiderstand um so höher, in je fortgeschrittenerem Auslaugungsgrad sich der jeweilige Boden befand. Im deutschen humiden Klima wird also schon beim selben (nicht durch aufgestreute Düngesalze beeinflußten) Boden der Leitungswiderstand vom A- zum B-Horizont abnehmen, um im noch wenig aufgeschlossenen C-Horizont wieder anzusteigen.

II. Einfluß der Pflegemaßnahmen auf die Leitfähigkeit des Bodens.

Die folgenden Versuche sollten ermitteln, wie durch die verschiedenen Kulturmaßnahmen die Leitfähigkeit des Bodens beeinflußt wird und welche von ihnen besonders geeignet sind, dieselbe zu verbessern. Da schon geringe Humusmengen im Stande sind, viele Bodeneigenschaften weitgehend zu verändern, namentlich physikalische, sowie physikalisch-chemische, wie die Wasserführung einerseits und die Salzbindung anderseits, so wurden zwei Versuchsreihen angelegt mit:

1. praktisch humusfreien Boden ohne Humuszusatz,
2. den gleichen Boden, denen jedoch 2 % feine Humusteile beigemengt waren, welche durch Absieben mittels des 0,1-mm-Siebes mäßig zersetzter Torfmulle gewonnen wurden.

Zur Versuchsanstellung dienten sechs verschiedene Ackerböden, welche sich namentlich durch ihren Gehalt an abschlämmbaren Teilen unter 0,02 mm unterschieden. Die Böden waren folgende:

	Teile unter 0,02 mm
1. Sandboden	5,1 %
2. Lehmiger Sandboden	14,4 %
3. Sandiger Lehmboden	23,2 %
4. Leichter Lehmboden	34,3 %
5. Toniger Lehmboden	46,8 %
6. Lehmiger Tonboden	54,2 %

1. Einfluß des Feuchtigkeitszustandes des Bodens auf seine Leitfähigkeit.

Für die nachfolgenden Untersuchungen kann man die Elektrizitätsleitung der Erde zurückführen auf die Erdteilchen mit den sie umgebenden hygroskopischen Wasserhüllen einerseits und dem diese Bodenkörperchen verbindenden Kapillarwasser anderseits, wobei hygroskopisches wie kapillares Wasser aufzufassen sind als mehr oder weniger stark verdünnte Lösungen. Beide Wasserformen zusammen finden ihren Ausdruck im Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Steigt dieser sehr hoch — sumpfartig — an, so wird die schon von Hause aus sehr verdünnte Bodenlösung noch weiterhin verdünnt und bietet damit zunehmend ungünstige Bedingung für die Stromleitungen. In der Praxis wird aber von dieser Seite weniger eine Benachteiligung der Leitfähigkeit des Bodens zu erwarten sein, da sich im normalen Ackerboden mit gesunden Wasserverhältnissen die Feuchtigkeitsschwankungen jeweils nur in verhältnismäßig engen Grenzen von etwa 70—50% der in obiger Weise bestimmten Wasserkapazität bewegen, im Hochsommer auch noch etwas tiefer sinken können. Vielmehr wird bei den Ackerböden in der Regel eine andere Gefahr bestehen: Bei einem Wassergehalt erheblich unter 100% der Wasserkapazität wird zunächst hauptsächlich das kapillare Wasser abnehmen, welches die Bodenteilchen mit einander in Leitungskontakt hält. Statt dessen schieben sich Luftschichten ein. Es wird sich also bei Feuchtigkeitsrückgang des Bodens trotz der damit verbundenen Erhöhung der Salzkonzentration eine zunehmende Beeinträchtigung der Leitfähigkeit einstellen. Da diese Auffassung abweicht von derjenigen Haines (4), nach welcher die elektrische Leitfähigkeit eines Bodens umgekehrt proportional zu seinem Wassergehalt ist, so sollte zunächst der Einfluß der in den gesunden heimischen Ackerböden auftretenden Wasserschwankungen auf die Leitfähigkeit geprüft werden. Hierfür wurden die Böden bei verschiedenen Sättigungsgraden ihrer Wasserkapazität hinsichtlich ihrer Stromleitung untersucht:

Leitungswiderstand in Ohm.

Wassergehalt in % der Wasserkapazität	Sand		Lehmiger Sand		Sandiger Lehm		Leichter Lehm		Toniger Lehm		Lehmiger Ton	
	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus
100	3050	3510	2280	2460	1300	1500	1440	1780	970	1410	1500	1470
80	3190	3530	2460	2480	1300	1440	1500	1730	1000	1440	1600	1490
60	6200	4120	3800	3740	1500	1490	1740	1680	1100	1390	2330	1690
50	12000	5150	3660	4500	1600	2250	1800	2420	1180	1830	2250	2830
40	12000	9800	4140	5380	1850	3320	2940	2950	1590	1940	2980	3500

Bei den humusfreien Böden machte sich sogar schon bei einer Sättigung zu nur 80% ein, wenn auch geringer, Anstieg des Stromwiderstandes bemerkbar, obgleich die Böden bei diesem

Feuchtigkeitsgehalt immer noch eine nahezu breiige Beschaffenheit hatten. Bei einem Wassergehalt von 60% war die Feuchtigkeit so weit herabgemindert, daß sie eben anfing, eine Pflugarbeit ohne starkes Schmieren zu ermöglichen. Bei diesem Feuchtigkeitsgehalt beginnt aber bereits ein mehr oder weniger kräftiger Anstieg des Stromwiderstandes. Namentlich gilt dies für die beiden sandreichen Böden, bei denen in Anbetracht ihrer von Hause aus geringen Wasserkapazität das jetzt nur noch vorhandene wenige Wasser anscheinend nicht mehr ausreichte, um genügend leitende Verbindungen zwischen den Sandkörnchen herzustellen. Günstiger liegen die Verhältnisse bei den in erster Linie für eine „elektrische Bearbeitung" in Betracht kommenden schweren Böden. Hier besteht infolge des großen Gehalts an tonnahen Teilen eine viel dichtere Bodenlagerung, als beim Sandboden; daher reichen auch schon geringere Wassermengen aus, um viele Verbindungen zwischen den Erdteilchen herzustellen.

Die Humuszugabe hat beim Sandboden bei einer Wassersättigung von 60% und darunter eine Verringerung des Leitungswiderstandes gegenüber dem humusfreien Boden im selben Feuchtigkeitsgrad erbracht. Obwohl die Humuszufuhr nur 2% betrug, hatte sie hier eine Erhöhung der Wasserkapazität um rund 15% zur Folge und verursachte damit einen besseren Schluß der Sandteilchen. Im Gegensatz dazu hat sie bei den übrigen Böden im Gesamten gesehen sogar eher eine Erhöhung des Leitungswiderstandes gegenüber humusfrei zur Folge gehabt, namentlich nach Absinken des Wassergehalts auf 50% und darunter. Anscheinend spielt bei diesen Böden, die schon von sich aus bessere Wasserfassung besitzen, die Wasserkapazitätserhöhung durch die Humusbeigabe keine besondere Rolle; mindestens tritt ihre leitungsverbessernde Wirkung zurück hinter der starken Sorptionskraft des zugeführten Humus, welcher von den im Wasser vorhandenen Ionen festlegte, also zu einer Verdünnung der Bodenlösung führte und damit wiederum zu einer Verschlechterung ihrer Leitfähigkeit, zumal der Humus sorptiv nicht gesättigt war. Beim Sandboden konnte sich das Bindungsvermögen des Humus kaum auswirken, da dieser Boden infolge der starken Auswaschung, welcher er unterlag, schon von Hause aus sehr arm an sorbierbaren Stoffen ist. Für obige Auffassung wird noch Versuch 4 sprechen. In je stärker gesättigtem „schwarzerdeähnlichen" Zustand sich der im Boden vorhandene Humus befindet, in desto geringerem Maße wird er Ionen festlegend und damit die Leitfähigkeit des Bodens herabsetzend wirken.

2. Einfluß der Bodentemperatur auf den Leitungswiderstand.

Bei einer Lösung steigt bekanntlich mit zunehmender Temperatur der Dissoziationsgrad und damit die Leitfähigkeit. Der nachfolgende Versuch sollte Einblick in die sich in dieser Beziehung im Boden abspielenden Vorgänge gewähren.

Leitungswiderstand in Ohm.

Bodentemperatur in Grad	Sandboden	Lehmiger Sandboden	Sandiger Lehmboden	Lehmboden	Toniger Lehmboden	Lehmiger Tonboden
13	3150	3600	1500	1880	1300	1950
14	2990	3350	1370	1750	1240	1830
15	2850	3120	1270	1690	1220	1740
17	2780	2880	1170	1580	1180	1600
20	2630	2650	1140	1470	1100	1500
25	2290	2140	1000	1360	950	1360
30	2110	1810	900	1250	900	1240
35	2010	1560	830	1120	820	1100
50	1480	1200	670	880	630	830

Der Leitungswiderstand ging bei allen Böden mit zunehmender Temperatur langsam zurück, das gleiche Grundstück wird sich also elektrischem Strom gegenüber im September anders verhalten, als im Frühjahr. Hier wieder wird es dem elektrischen Strom größeren Widerstand entgegensetzen, als im Frühsommer. Die besten Bedingungen für die elektrische Bodenbearbeitung beständen, vom Standpunkt der Temperatur aus gesehen, im Sommer. Jedoch ist zu dieser Zeit wieder der Faktor Bodenfeuchtigkeit meistens ungünstig niedrig, so daß dann der Wirkung der größeren Wärme die nachteilige der geringen Bodenfeuchtigkeit gegenübersteht. Da, auf längere Zeit gesehen, eine kühlere Bodentemperatur eine verlangsamte, sich mehr in Richtung nach dem ungesättigten Humus zu bewegende, eine höhere aber eine der Bildung des gesättigten „milden“ Humus günstigere Zersetzung der organischen Substanz zur Folge hat, so werden die durch die Temperatur bedingten Leitungsauswirkungen durch den Faktor Humus noch etwas verstärkt werden: Ein sich auf Grund seiner allgemeinen Lage, seines Verwitterungszustandes usw. schlecht erwärmender Boden wird durch den beeinträchtigten Verlauf des Humusabbaues dem elektrischen Strom mehr Widerstand entgegensetzen, als durch die Temperatur allein bedingt wäre und umgekehrt.

3. Einfluß der Bodenlagerung auf den Stromwiderstand.

In einem aufgelockerten Boden werden, namentlich bei einer unter 80% der Kapazität liegenden Sättigung mit Wasser, die Berührungspunkte der einzelnen Erdteilchen, respektive die Wasserbrücken zwischen den sie umgebenden Feuchtigkeitshüllen, weniger zahlreich sein, als bei einer geschlossenen Lagerung. Daher wird sich auch die elektrische Leitfähigkeit des gleichen Bodens mit seiner jeweiligen Lagerung ändern.

Bei den folgenden Versuchen wurden die lufttrockenen Böden das eine Mal (in der bei den Wahnschaffe'schen Zylindern üblichen Weise) „unter immerwährendem Aufstoßen auf eine weiche Unterlage“ (5) in die Glasgefäße eingefüllt, darauf erfolgte die Zugabe der entsprechenden Wassermenge „normale Lagerung“. Das andere Mal wurden die Böden nach Einfüllen und Wasserzusatz mit einem kleinen Spachtel aufgelockert.

Reihe ohne Humuszusatz. Leitungswiderstand in Ohm.

Wasserzusatz in $^0/_0$ der Wasserkapazität	Sandboden		Lehmiger Sandboden		Sandiger Lehmboden		Leichter Lehmboden		Toniger Lehmboden		Lehmiger Tonboden	
	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker
80	3190	4820	2460	2210	1300	1200	1500	1300	1000	1100	1600	1680
60	6200	6680	3800	4700	1500	1400	1740	3150	1100	1710	2230	2920
50	12000	12000	3660	5050	1600	3300	1800	4040	1180	1720	2550	4050
40	12000	12000	4140	11000	1850	4800	2940	4400	1590	3080	2980	6010

Bei einem Wasserzusatz von $80^0/_0$ und darüber flossen die lehmigen Böden nach der Auflockerung wieder mehr oder weniger zusammen, so daß bei diesen erst bei einem Sättigungsgrad von nur $60^0/_0$ und darunter eine nachhaltige Auflockerung erzielt werden konnte. Nun trat aber eine mit abnehmendem Feuchtigkeitsgehalt ansteigende beträchtliche Erhöhung des Leitungswiderstandes ein.

Wenn auch die Pflugarbeit gerade zu Zeiten dichtgelagerten Bodens stattfindet, so geht jedoch das durch den elektrischen Strom anzuregende Pflanzenwachstum bei einem mehr oder weniger aufgelockerten, also der Leitfähigkeit ungünstigen Bodengefüge vor sich.

Reihe mit Humuszusatz. Leitungswiderstand in Ohm.

Wasserzusatz in $^0/_0$ der Wasserkapazität	Sandboden		Lehmiger Sandboden		Sandiger Lehmboden		Leichter Lehmboden		Toniger Lehmboden		Lehmiger Tonboden	
	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker	normal	locker
80	3530	3320	2480	2400	1440	1430	1730	1700	1440	1250	1490	1680
60	4120	6900	3740	3880	1490	2170	1680	2420	1390	1830	1690	2410
50	5150	7660	4500	6500	2250	3150	2420	3340	1830	2600	2830	3610
40	9800	12000	5380	10700	3320	4920	2950	6500	1940	3530	3500	5360

Auch hier wieder ergibt sich das gleiche Bild wie oben: Durch die Bodenlockerung erfuhr der Leitungswiderstand überall eine starke Erhöhung. Diese war teils größer, teils geringer als beim locker gelagerten humusfreien Boden, so daß sich eine einheitliche Auswirkung des Humus bei den gelockerten Böden nicht erkennen läßt.

4. Einfluß der Düngung auf den Leitungswiderstand des Bodens.

Da die Leitfähigkeit abhängig ist von dem Gehalt an wanderungsfähigen Ionen, so erschien eine Zufuhr von wasserlöslichen Düngesalzen besonders geeignet, den Leitungswiderstand im Boden herabzusetzen und letzteren damit für eine elektrische Behandlung gut vorzubereiten. Die hier durchgeführten Versuche fanden in zwei Reihen statt. Die eine wurde in steigenden Gaben

mit einem der Festlegung durch den Boden nur beschränkt unterliegenden wasserlöslichen Salz behandelt, mit Chlorkali. Wenn dasselbe selbstredend im Boden schon durch die Basenaustauschvorgänge in kürzester Zeit Umsetzungen durchmachen wird, so wird aber das dabei neuentstehende Salz wieder vorwiegend eine Chlorverbindung sein, also der Festlegung durch den Boden ebenfalls kaum stärker unterliegen als Kaliumchlorid.

Die andere Reihe erhielt ein zwar ebenfalls wasserlösliches Salz, welches aber im Boden bald Bindungen einzugehen vermag: Monokalziumphosphat. Als Wassersättigung der Erde wurde in beiden Fällen 100% der Kapazität gewählt, um ein möglichst gleichmäßiges Durchrühren des Bodens mit der Salzlösung zu ermöglichen. Bei beiden Reihen fanden die Untersuchungen mit Normallösungen statt, von denen fortlaufend je 0,1 ccm den Bodenproben zugegeben wurde. Nach gründlichem Durchrühren und jeweiligem zirka zehnstündigen Stehen fanden Messungen statt.

KCl-Reihe. Leitungswiderstand in Ohm.

KCl-Zusatz ccm	Sandboden		Lehmiger Sandbod.		Sandiger Lehmbod.		Leichter Lehmbod.		Toniger Lehmbod.		Lehmiger Tonbod.	
	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus	ohne Humus	mit Humus
0,0	3050	3510	2210	2420	1500	1770	1440	1780	1100	1450	1530	1480
0,1	2250	2300	1810	2070	1340	1390	1010	1390	900	1180	1020	1280
0,2	1540	1730	1480	1860	1110	1200	960	1150	800	980	1020	1190
0,3	1200	1400	1280	1550	970	1120	850	1040	760	900	980	1080
0,4	1100	1190	1050	1380	820	1040	800	910	720	850	870	1010
0,5	870	980	910	1150	790	890	750	830	650	810	800	890
0,6	830	910	910	980	770	850	670	820	630	730	810	850

Bei den humusfreien Böden wurde also der Leitungswiderstand mit zunehmender KCl-Versorgung erheblich herabgesetzt. Besonders wirkungsvoll erwies sich jeweils die erste Gabe von 0,1 ccm, die bei einer angenommenen Ackerfurchentiefe von zirka 17 cm einer Versorgung des Boden mit etwa 80 kg K_2O = rund 2 dz 40er Kalisalz je ha entspricht, sich also im Bereich der Düngerpraxis bewegt; dabei ist noch die leitungsfördernde Wirkung der Nebensalze, namentlich des NaCl unberücksicht geblieben. Bei den humushaltigen Böden trat durch die KCl-Zugabe zwar ebenfalls eine Verringerung des Leitungswiderstandes ein, jedoch erreichte dieselbe kleinere Ausmaße als bei den humusfreien Böden, wohl infolge der durch die Humuszufuhr verstärkten Sorptionskraft des Bodens.

Weitere Untersuchungen werden besonders versuchen müssen, zu ermitteln, wie lange vor der elektrischen Pflugarbeit bei den verschiedenen Bodenarten die Kalisalze auszustreuen wären (Niederschlagsverhältnisse usw.), um bis zum Pflügungstermin eine genügende Durchdringung des Bodens mit den zugeführten Düngesalzen nach Möglichkeit zu begünstigen.

$CaH_4(PO_4)_2$-Reihe. Leitungswiderstand in Ohm.

$CaH_4(PO_4)_2$-Zusatz ccm	Sandboden		Lehmiger Sandbod.		Sandiger Lehmbod.		Leichter Lehmbod.		Toniger Lehmbod.		Lehmiger Tonbod.	
	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit
	Humus		Humus		Humus		Humus		Humus		Humus	
0,0	3050	3510	2210	2420	1500	1770	1440	1780	1100	1450	1530	1450
0,1	2780	2880	2020	2350	1400	1740	1160	1790	1100	1330	1300	1350
0,2	2540	2700	1870	2200	1360	1640	1160	1750	1100	1320	1250	1270
0,3	2370	2480	1880	2040	1420	1650	1170	1770	1020	1300	1280	1290
0,4	2100	2210	1790	1920	1480	1650	1120	1750	1000	1310	1280	1280
0,5	1790	1780	1710	1800	1410	1570	1100	1720	980	1320	1280	1280
0,6	1730	1710	1750	1710	1410	1550	1140	1720	1010	1300	1220	1270

Der Zusatz von Monokalziumphosphat erbrachte bei den humusfreien Böden zwar ebenfalls eine Verbesserung der Leitfähigkeit des Bodens für den elektrischen Strom; jedoch bewegte sich diese, wie zu erwarten, namentlich bei den tonigen Böden den Kaligaben gegenüber in nur bescheidenen Grenzen. Beim Sandboden war die Verbesserung der Leitungsfähigkeit noch am größten, da dieser infolge seiner Freiheit von Kalk und Armut an Eisen- und Aluminiumverbindungen auch nur ein geringes Festlegungsvermögen für P_2O_5 besitzt.

Bei den humushaltigen Böden konnte nur bei den beiden Sandböden eine Widerstandsverminderung durch die Phosphatdüngung festgestellt werden Bei den übrigen Bodenproben wurde anscheinend eine vollständige Festlegung der P_2O_5 durch die Humusbeigabe verursacht, was um so auffälliger ist, als der angewandte Humus noch sauer reagierte. Während also die Kalizugabe ein wertvolles Hilfsmittel zur Leitungsverbesserung des Bodens bildete, war dies beim Monokalziumphosphat weniger der Fall.

Zusammenfassung.

Die Versuche haben, kurz zusammengefaßt, ergeben, daß der Leitungswiderstand der Böden für den elektrischen Strom innerhalb sehr weiter Grenzen schwankt. Er stieg von den Schwarzerden über die Braunerden (nach Ramann) zu den podsolnahen Böden stark an.

Der Leitungswiderstand des gleichen Bodens wurde erhöht durch Abnahme der Feuchtigkeit (solange sich diese im Größenbereich des gesunden Ackerbodens bewegte), durch Bodenlockerung, Temperaturrückgang und Humuszugabe.

Er wurde verringert durch Dichtlagerung der Erde, Temperaturanstieg im Boden und durch Zufuhr des wasserlöslichen, der Bodenfestlegung wenig unterliegenden, Düngesalzes Chlorkali.

Von diesen Faktoren liegen bei Grundstücken, welche die für normalen Ackerbau erforderliche Gesundheit besitzen, Bodentemperatur und Feuchtigkeit ziemlich außerhalb der weitgehenden kulturellen Beeinflußbarkeit: Keimung und erste Jugendentwick-

lung der Pflanzen erfolgen zur Hauptsache im Frühjahr und Herbst, also zu Perioden geringerer Bodentemperatur. Auch die Bodenbearbeitung muß im wesentlichen zu den gleichen Zeiten erfolgen und setzt außerdem noch eine bestimmte Bodenabtrocknung voraus, um eine gute Pflugarbeit zu erreichen. Diese Vorgänge müssen sich also unter Bedingungen abspielen, die für die elektrische Leitfähigkeit nicht sonderlich günstig sind. Auch die für letztere eher nachteilige Versorgung des Bodens mit Humus ist eine zwangsläufige, so daß eine Verringerung des Leitungswiderstandes des Bodens in erster Linie von Seiten einer auf die hier aufgeworfenen Probleme abgestimmten Anwendung von Handelsdüngern zu erwarten ist. Deshalb soll besonders dieser Möglichkeit weitere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Schrifttum

1. Kuhne, G.: Neue Untersuchungen an Werkzeugen zur Bodenbearbeitung Die Technik in d. Landw., Berlin, **17**, 1936, 114–119. — Elektrischer Strom und Zugwiderstand. Reichskuratorium fur Technik in der Landwirtschaft 1938, Tätigkeitsbericht 1937, 24.
2. Nostitz, A. v.. Zur Frage der Wasserkapazitatsbestimmung bei Mineralboden. Bodenkunde u. Pflanzenernahr., Berlin **8**, 1938, H. 5/6, 257—262.
3. Wahnschaffe u. Schucht: Wissenschaftliche Bodenuntersuchung, Berlin 1924, Parey, 4. Aufl., 161.
4. Haines, William, B.: Observations on the electrical conductivity of soils J. Agr. Sc., **15**, 536—543, Rothamstedt Exp. Stat. 1925. — Vgl. auch Marquard, A. Über die Bestimmung des Nahrstoffgehaltes der Bodenlosung durch Messen der elektrischen Leitfahigkeit. Mitt. Labor. Preuß. Geol. Landesamt, Berlin 1921, H. 14.
5. Wahnschaffe u. Schucht a. a. O. S. 163. [245]

Ein Beitrag zur Kalkstickstoffumsetzung im Boden.

Von **F. Giesecke** und **M. Sterz.**

(Aus dem Institut für Pflanzenernahrungslehre und Bodenbiologie der Universitat Berlin.)

Eingegangen: 28. Oktober 1938.

Einleitung.

Die mannigfachen Untersuchungen, die angestellt wurden, um über Art und Verlauf der Umsetzungen des Kalkstickstoffs im Boden Klarheit zu gewinnen, haben gezeigt, daß der Zersetzungsvorgang, dem der Kalkstickstoff im Boden unterliegt, in mehreren voneinander unabhangigen Prozessen verlauft, die teils physikalisch-chemischer (1, 2, 3, 4, 5), zum großeren Teil aber rein mikrobieller Natur sind (6, 7).

Es hat sich ferner gezeigt, daß die Umwandlung des Kalkstickstoffs im Boden zu Ammoniak — bzw. Nitratstickstoff — je nach der Art des Bodens verschieden schnell verlauft und daß besonders hinsichtlich des Verlaufes der Nitrifikation bei den einzelnen Bodenarten recht beträchtliche Unterschiede festzustellen sind.

Untersuchungen, die in letzter Zeit im hiesigen Institut von F. Giesecke und K. Schmalfuß sowie K. Schmalfuß (8, 9) mit verschiedenen Böden durchgeführt wurden, hatten gezeigt, daß der Vorgang der Nitrifikation bei Harnstoff und Ammonsulfat einerseits und Kalkstickstoff andererseits hinsichtlich des Umfanges und des zeitlichen Ablaufes bei den zur Untersuchung herangezogenen Böden erheblich verschieden verlief.

Es erschien angesichts dieses Befundes angebracht, bei einer Anzahl weiterer Böden Untersuchungen darüber anzustellen, welche Beziehungen zwischen den Bodeneigenschaften einerseits und dem Ablauf der Kalziumzyanamidumwandlung andererseits bestehen.

Für die Untersuchungen, über die hier berichtet wird, wurden sieben Böden, die hinsichtlich ihres Charakters deutliche Unterschiede zeigten, herangezogen. Die Bezeichnung derselben und ihre charakteristischen Daten sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt.

Zu den Tabellen sei folgendes bemerkt:

Die physikalischen Untersuchungen der Böden erstreckten sich auf die Bestimmung des spezifischen Gewichtes, der Wasserkapazität und der mechanischen Bodenanalyse. Um ein den natürlichen Verhältnissen entsprechendes Bild der Bodenzusammensetzung zu erhalten, wurde die Vorbereitung zur mechanischen Bodenanalyse ohne Anwendung von Chemikalien durchgeführt, nur durch sorgfältiges Zerreiben des Bodens in kaltem destillierten Wasser mittels des Fingers (10). Die Fraktionen 2,0—0,2, 0,2—0,06, 0,06—0,02 mm Durchmesser wurden nach dem Schlammverfahren von Atterberg bestimmt, die Fraktionen 0,01—0,005, 0,005—0,001, 0,001 mm Durchmesser nach der Pipettmethode von Kohn. Die Fraktion 0,02—0,01 mm Durchmesser wurde aus der Differenz festgestellt.

Bei der chemischen Untersuchung des Bodens wurden die Bestimmungen berücksichtigt, die bei einer späteren Auswertung der Resultate ausschlaggebend sein konnten. Es erschien wünschenswert, die Aziditätskonstanten des Bodens zu kennen, seinen Gehalt an kohlensaurem Kalk, den Kohlenstoff — und Stickstoffgehalt. Zur Ergänzung der physikalischen und chemischen Untersuchungen wurden die Bestimmungen der Summe S der sorptiv gebundenen Basen und der totalen Sorption T ausgeführt. Letztere Untersuchungen erfolgten nach den Vorschriften von Vageler und Alten (11). Als weiteres wurde die Adsorption nach Knop bestimmt (12).

Versuchsplan.

In Anlehnung an die schon oben erwähnte Arbeit von K. Schmalfuß (9) wurde der Versuch in der Weise durchgeführt, daß eine Reihe der zur Untersuchung herangezogenen Böden mit Kalkstickstoff gedüngt wurde, während eine zweite Reihe eine gleich hohe N-Gabe in Form von $(NH_4)_2SO_4$ erhielt. Um hinsichtlich der Kalkmengen bei den Reihen möglichst gleiche Bedingungen zu schaffen, wurde den Bodenproben der mit $(NH_4)_2SO_4$ gedüngten Reihe soviel Kalk in Form von gefälltem $CaCO_3$ zugesetzt, als dem Gesamt-Ca-Gehalt der entsprechenden Kalkstickstoffgabe entsprach.

Ob die mit dieser Maßnahme beabsichtigte Wirkung völliger Gleichheit in bezug auf Kalk im vollen Umfange erreicht wurde, ist nicht ohne weiteres mit Sicherheit anzunehmen. Die im Kalkstickstoff enthaltene Kalkmenge setzt sich aus dem im Kalziumzyanamid gebundenen Ca und aus freiem CaO zusammen (13). Letzteres ist „totgebrannt“ und reagiert wahrscheinlich nur sehr langsam und unvollkommen, während der chemisch gebundene Kalk sich bei seiner Abspaltung aus dem Kalziumzyanamid als sehr reaktionsfähig erweisen wird. Unter diesen Umständen ist wohl kaum anzunehmen, daß der Zusatz

Tabelle 1.

Boden-Bezeichnung	Spez. Gew.	Wasser-kapaz. in % d. tr. Bod.	pH H_2O	pH KCl	Aust. Azid. cm^3	Hydrolytische Azidität cm^3	% $CaCO_3$ in tr. Bod. nach Scheibler	% C in tr. Bod.	mg Ges.-N in 100g tr. Bod.	C:N	mg N NH_3-N in 100 g tr. Bod.	mg N Nitrat-N in 100 g tr. Boden	Adsorption nach Knop	T	S	V.
Braunschweig II.	2,45	55,6	3,68	3,21	47,00	95,0	0	7,67	618,0	12,4:1	12,2	8,3	99,0	28,80	1,93	6,7
Königsmoor	2,48	38,2	4,10	3,16	8,05	54,2	0	5,12	136,8	37,4:1	2,4	0	33,4	12,65	1,04	8,2
Oderbruch	2,50	45,0	5,75	5,27	0,26	15,7	0	5,85	565,0	10,4:1	4,3	1,5	143,5	33,81	28,00	82,8
Rettgau	2,69	33,5	7,07	5,41	0,14	5,2	0,12	2,04	185,2	11,0:1	0,6	4,3	134,2	28,36	26,80	94,5
Dahlem U.	2,66	23,4	7,78	7,11	0,10	1,0	0,04	0,20	19,8	10,3:1	1,3	0,4	17,8	1,30	1,30	100
Cöthen	2,65	32,4	8,22	7,42	0,10	1,1	17,40	2,08	198,7	10,5:1	2,0	3,2	80,8	11,90	11,90	100
Marsch	2,69	36,3	8,25	7,15	0,10	1,4	6,40	1,65	167,6	9,8:1	1,9	1,2	97,7	16,90	16,90	100

Tabelle 2.

Korngrößen mm Durchmesser	Braunschweig II. % in tr. Boden	Königsmoor % in tr. Boden	Oderbruch % in tr. Boden	Rettgau % in tr. Boden	Dahlem U. % in tr. Boden	Cöthen % in tr. Boden	Marsch % in tr. Boden
2—0,2	33,1	68,8	17,2	23,9	62,7	28,9	3,6
0,2 —0,06	20,3	22,3	12,9	10,2	30,0	13,4	19,2
0,06 —0,02	20,1	6,6	21,9	17,2	3,7	26,7	33,2
0,02 —0,01	5,8 } 26,5 % Tonige Teile	1,0 } 2,3 % Tonige Teile	8,6 } 48 % Tonige Teile	5,0 } 48,7 % Tonige Teile	0,7 } 3,6 % Tonige Teile	13,1 } 31 % Tonige Teile	12,3 } 44 % Tonige Teile
0,01 —0,005	7,3	0,8	10,5	12,2	1,0	7,5	10,7
0,005—0,001	9,6	0,25	18,8	20,6	1,3	7,6	13,6
< 0,001	3,8	0,25	10,1	10,9	0,6	2,8	7,4

von gefälltem $CaCO_3$ genau dieselbe chemische und physiologische Wirkung entfalten wird wie der im Kalkstickstoff enthaltene Anteil an Kalk. Wenn aber auch hinsichtlich der Kalkverhältnisse der beiden Versuchsreihen völlig gleiche Bedingungen möglicherweise sich nicht erzielen ließen, so dürfte doch die hierdurch bedingte Verschiedenheit kaum ins Gewicht fallen und das um so weniger, als sämtliche Böden unter den gleichen Bedingungen standen.

Außer den beiden mit Kalkstickstoff und mit $(NH_4)_2SO_4$ gedüngten Reihen wurde noch eine dritte angesetzt, bei der die Böden nur die dem Kalkgehalt des Kalkstickstoffs entsprechende Kalkgabe im Form von $CaCO_3$ erhielten, aber ohne N.

Es entstanden somit folgende drei Reihen:

1. Boden mit Kalkstickstoff,
2. Boden mit $(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3$,
3. Boden mit $CaCO_3$.

Diese dritte Reihe wurde angesetzt, um die Wirkung des Kalkes auf die N-Bestandteile des natürlichen Bodens verfolgen zu können.

Ansetzen der Gefäße und Durchführung des Versuches.

Von jedem Boden (2 mm) wurden Mengen, die 600 g Bodentrockensubstanz entsprachen, in einer Porzellanschale mit soviel Kalkstickstoff bzw. $(NH_4)_2SO_4$ versetzt, daß jede Probe 120 mg N erhielt. Der zu diesem Versuch verwendete Kalkstickstoff hatte einen N-Gehalt von 19,78 % N und einen Gehalt an Gesamtkalk von 57,91 % CaO. Das $(NH_4)_2SO_4$ wurde als chemisch reines Salz verabreicht. Die mit $(NH_4)_2SO_4$ versehenen Bodenproben (Reihe 2), sowie diejenigen, die ohne N-Zusatz geblieben waren (Reihe 3), erhielten eine Kalkgabe entsprechend der in der Kalkstickstoffgabe der Reihe 1 enthaltenen Kalkmenge. Nach dem Zusatz der Dungesalze und des Kalkes wurden samtliche Proben auf einen H_2O-Gehalt von 47 % der Wasserkapazität gebracht und nach sehr sorgfaltigem Durchmischen in 1 Liter fassende Kochflaschen gefullt, die dann mit einem Wattebausch verschlossen wurden.

Aus Gründen technischer Natur — wegen der Unmöglichkeit, die Untersuchungen sämtlicher sieben Böden an einem Tage durchzuführen — wurde der Versuch geteilt und zunächst erst die N-Umsetzung in den Böden Dahlem, Königsmoor, Marsch und Braunschweig II verfolgt. Später, nachdem ein Abklingen des Reaktionsverlaufes gestattete, die auszuführenden Bestimmungen in größeren Zwischenräumen vorzunehmen, wurden die übrigen Böden in den Versuch mit einbezogen. Um aber einen möglicherweise verschiedenartigen Verlauf der Umsetzungen, der hierdurch etwa eintreten konnte, erfassen zu können, wurde zum Vergleich in jede der beiden Versuchsreihen der Boden Dahlem mit einbezogen. Da es sich aber herausstellte, daß der Umsetzungsverlauf bei Boden Dahlem in beiden Versuchsreihen gleichsinnig verlief, so sind aus Gründen der besseren Vergleichsübersicht nur die Werte eines Dahlemer Bodens angegeben.

Während der ganzen Dauer des Versuches standen die Kolben in einem Raum, dessen Temperatur zwischen 20 und 23° C schwankte, einige sehr

heiße Sommertage ausgenommen, an denen die Temperatur im Maximum 26° C betrug. Während der Sommermonate war der Raum fast immer abgedunkelt, während der Wintermonate nicht. Die Probeentnahme geschah in der Weise, daß die Bodenprobe jeweils in eine Porzellanschale ausgeschuttet, gut durchgemischt und die Probe für die Analyse entnommen wurde. Danach wurde dem Boden das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser ersetzt und er nach einer abermaligen Durchmischung wieder in den Kochkolben eingefüllt. Vergingen zwischen zwei Probenahmen mehrere Wochen, so wurden die Bodenproben in der Zwischenzeit durchluftet und, falls Wasser ergänzt werden mußte, durchgemischt.

Während der Versuchsdauer erstreckte sich die chemische Untersuchung auf die Bestimmung von NH_3-N und Nitrat-N. Die Reduktion des Nitrat-N erfolgte mit Arndscher Legierung. Auf diese Weise wurde neben dem Nitratstickstoff auch der etwa vorhandene Nitritstickstoff mitbestimmt und in den Fällen, wo der Kalkstickstoff sich noch nicht umgesetzt hatte, ein Teil des Zyanamid-N. Dieser letzte Umstand wurde nicht als sonderlich störend befunden, da die Auswertung der Ergebnisse dadurch keine Einbuße erlitt.

Um festzustellen, ob während der Dauer des Versuches Stickstoffverluste auftreten würden, wurden bei Beginn, während des Versuches und nach Abbruch desselben Gesamtstickstoffbestimmungen vorgenommen. (Tab. 3.)

Tabelle 3.

Bodenbezeichnung	Tag der Untersuchung	mg Ges-N in 100 g tr. Boden (Mittelw.)		
		Kalkstickstoffdungung	Ammonsulfatdungung	Ohne N-Dungung
Braunschweig II	Am Ansetzungstag	620,8	621,2	600,6
	34. Tag nach d. Ansetzen	638,8	636,6	618,9
	Abbruch des Versuches	631,4	628,1	599,9
Konigsmoor	Am Ansetzungstag	153,5	152,8	138,4
	34. Tag nach d Ansetzen	155,5	157,4	137,3
	Abbruch des Versuches	149,5	149,2	128,2
Oderbruch	Am Ansetzungstag	579,6	580,4	558,2
	52. Tag nach d. Ansetzen	572,5	566,7	550,6
	Abbruch des Versuches	579,3	574,5	558,5
Rettgau	Am Ansetzungstag	189,1	192,5	161,0
	52. Tag nach d. Ansetzen	198,1	197,8	174,6
	Abbruch des Versuches	191,7	193,3	180,0
Dahlem, Untergrund	Am Ansetzungstag	36,7	36,3	17,0
	34. Tag nach d. Ansetzen	35,5	34,7	18,0
	Abbruch des Versuches	20,9	23,2	17,6
Cöthen	Am Ansetzungstag	214,8	213,5	196,1
	52. Tag nach d. Ansetzen	214,6	212,9	197,4
	Abbruch des Versuches	210,7	211,0	194,6
Marsch	Am Ansetzungstag	184,7	183,6	167,3
	34. Tag nach d. Ansetzen	183,7	180,2	163,5
	Abbruch des Versuches	178,3	176,2	164,1

Versuchsergebnisse.

In den Tabellen Nr. 4—10 sind die Ergebnisse der N-Bestimmungen der verschiedenen Böden zusammengestellt, auf S. 23ff. finden sich die entsprechenden graphischen Darstellungen. - Die mitunter nicht ganz befriedigende Übereinstimmung einiger Parallelwerte laßt sich wohl zwangslos durch die Schwierigkeiten der Probenahme erklaren.

Die Besprechung der bei den einzelnen Böden erzielten Ergebnisse erfolgt am zweckmäßigsten an Hand der graphischen Darstellungen.

1. Boden Dahlem.

Boden Dahlem, Untergrund, ist ein adsorptionsschwacher, alkalischer Sandboden mit 3,6% abschlämmbaren Teilen. Aus dem Kurvenverlauf der Versuchsreihe 3 ist deutlich zu ersehen, daß der Gehalt von NH_3-N im Laufe des Versuches abgenommen, während der Gehalt von Nitrat-N eine Steigerung erfahren hat. Bei der Kleinheit der hier vorliegenden Werte ist es kaum möglich, irgendeine Schlußfolgerung quantitativer Natur zu ziehen. Immerhin läßt sich aus dem Verlauf der beiden Kurven entnehmen, daß der Boden Dahlem, Untergrund, imstande ist, NH_3-N zu nitrifizieren.

Bei der Versuchsreihe 2, den mit $(NH_4)_2SO_4$ gedüngten Bodenproben, ist der Verlauf der mikrobiellen Umsetzung im Anfang des Versuchs dem in Reihe 3 beobachteten völlig gleichsinnig, dem Verschwinden des NH_3-N läuft die Bildung von Nitrat-N parallel. Ein kleiner Teil des NH_3-N hat sich der Nitrifikation entzogen, ein Umstand, der wohl dadurch bedingt ist, daß der absorptionsschwache, alkalische Boden, der außerdem noch einen Zusatz von $CaCO_3$ erhalten hatte, durch Verflüchtigung von NH_3-N geringe N-Verluste erlitten hat. Der Gehalt an Nitrat-N, der nach etwa 30 Tagen eine Höhe von 17 mg N je 100 g trockenen Boden betrug, hat sich im weiteren Verlauf des Versuchs erheblich vermindert. Am Ende des Versuchs konnten nur noch rund 8,5 mg N als Nitrat-N nachgewiesen werden. Die Werte für Gesamt-N sind von 36 auf 23 mg N gesunken. Das Verschwinden des Nitratstickstoffes ist demnach durch einen N-Verlust zu erklären. Es ist Stickstoff in elementarer Form entwichen, d. h. also, daß Denitrifikation eingetreten ist. Dieser Denitrifikation liegen unter den hier obwaltenden Verhältnissen wohl kaum chemische Reaktionen zugrunde, denn es ist so gut wie kein Ammoniak-N vorhanden, der einen derartig großen Verlust an Stickstoff rechtfertigen könnte, selbst wenn nennenswerte Mengen von Nitrit gebildet worden wären. Es bleibt also nur die Annahme eines durch mikrobielle Tätigkeit verursachten N-Verlustes übrig.

Im Gegensatz zu dem Umsetzungsverlauf der Reihe 2 zeigte der mit Kalkstickstoff gedüngte Boden der Reihe 1 hinsichtlich der Nitrifikation ein wesentlich anderes Verhalten. Wie aus dem Verlauf der Kurve ersichtlich ist, hat in dem mit Kalkstickstoff

Tabelle 4.

Boden Dahlem, Untergrund.
20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 2. 3. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach d. Ansetzen	Probeentnahme am	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
2.	4. 3. 37	0,89 0,89	0,89	(8,09) (8,10)	(8,10)	18,99 19,00	19,00	0 0	0	0,50 0,50	0,50	0,39 0,39	0,39
4.	6. 3. 37	1,12 1,12	1,12	(6,93) (6,83)	(6,88)	18,58 18,59	18,59	0 0	0				
7.	9. 3. 37	1,23 1,40	1,32	(6,69) (6,54)	(6,62)	17,98 17,79	17,89	0,78 1,23	1,01				
10.	12. 3. 37	1,74 1,74	1,74	(6,45) (6,46)	(6,46)	16,09 15,87	15,98	2,59 2,81	2,70				
13.	15. 3. 37	2,13 2,13	2,13	(5,71) (5,94)	(5,83)	11,22 11,68	11,45	7,52 6,96	7,24				
16.	18. 3. 37	2,19 2,09	2,14	(5,45) (5,81)	(5,63)	6,90 7,35	7,13	11,42 11,19	11,31	0,17 0,17	0,17	0,68 0,57	0,63
30.	1. 4. 37	4,07 3,85	3,96	(2,26) (2,04)	(2,15)	1,13 1,13	1,13	16,99 17,00	17,00				
37.	8. 4. 37	5,78 8,03	6,90	(1,74) (1,74)	(1,74)	0,39 0,51	0,45	16,63 16,73	16,68				
48.	19. 4. 37	8,41 10,68	9,55	1,34 0,67	1,01	0,56 0,79	0,68	17,17 16,85	17,01				
64.	5. 5. 37	8,45 9,15	8,80	0,89 0,45	0,67	0,22 0,34	0,28	15,12 15,50	15,31				
83.	24. 5. 37	8,35 8,27	8,31	0,89 0,67	0,78	0,67 0,67	0,67	14,10 14,43	14,27				
101.	11. 6. 37	6,78 6,68	6,73	1,06 0,73	0,90	0,11 0,56	0,35	12,63 12,61	12,62				
132.	12. 7. 37	5,61 5,37	5,49	0,90 1,34	1,12	0,23 0,23	0,23	11,25 12,76	12,01				
156.	5. 8. 37	5,35 5,00	5,18	0,73 0,84	0,79	0,40 0,62	0,51	11,38 12,69	12,04				
195.	13. 9. 37	4,07 4,08	4,08	0,68 0,91	0,80	0 0	0	9,62 11,39	10,51	0 0,11	0,06	1,37 1,48	1,43
219.	7. 10. 37	3,86 3,64	3,75	0,91 1,25	1,08	0 0,23	0,12	11,16 12,68	11,92				
266.	23. 11. 37	3,24 3,22	3,23	1,16 1,38	1,27	0,12 0,23	0,18	13,19 13,71	13,45				
400.	6. 4. 38	2,14 2,15	2,15	1,31 1,31	1,31	0,47 0,24	0,36	7,70 9,14	8,42	0,47 0,46	0,47	1,51 1,27	1,39

Die in Klammern gesetzten Zahlen sind bei der Aufstellung der Kurven nicht berücksichtigt, da in diesen Werten ein Teil des Zyanamid-N mitenthalten ist. Siehe S. 23.

Tabelle 5.

Boden Königsmoor.
20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 2. 3. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am:	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
2.	4. 3. 37	3,05 3,07	3,06	(6,10) (6,26)	(6,18)	21,15 21,16	21,16	0 0	0	2,47 2,35	2,41	0 0	0
4.	6. 3. 37	3,50 3,62	3,56	(4,22) (4,48)	(4,35)	21,01 21,66	21,34	0 0	0				
7.	9. 3. 37	12,70 11,97	12,34	0 0	0	21,55 21,86	21,71	0 0	0				
10	12. 3. 37	17,63 14,92	16,28	0,73 1,25	0,99	21,74 22,16	21,95	0,73 0	0,37				
13.	15. 3. 37	18,29 17,57	17,93	0,12 0	0,06	22,11 22,15	22,13	0,12 0,61	0,37				
16.	18. 3. 37	18,86 18,69	18,77	0 0	0	21,73 21,98	21,86	0 0,12	0,06	3,90 3,79	3,85	0 0	0
30.	1. 4. 37	19,34 19,58	19,46	0 0	0	21,94 22,96	22,45	0 0	0				
37.	8. 4. 37	19,40 18,94	19,17	0 0	0	21,55 22,29	21,92	0 0	0				
48	19. 4. 37	20,06 19,90	19,98	0,12 0,12	0,12	21,74 22,35	22,05	0,24 0,12	0,18				
69.	10. 5. 37	20,01 20,06	20,04	0 0	0	21,28 21,63	21,46	0 0	0				
90.	31. 5. 37	20,85 20,69	20,77	0,10 0	0,05	20,77 22,09	21,43	0 0	0				
120.	30. 6. 37	22,12 21,66	21,89	0,30 0	0,15	21,00 22,12	21,56	0,06 0	0,03				
195.	13. 9. 37	20,79 20,54	20,67	0,62 0,37	0,50	18,97 21,13	20,05	0,37 0,25	0,31	6,55 6,32	6,44	0,25 0,37	0,31
238.	26. 10. 37	21,44 20,91	21,18	0 0	0	20,35 21,92	21,14	0 0,06	0,03				
289.	16. 12. 37	21,42 20,33	20,88	0,95 0,32	0,64	19,71 22,00	20,86	0,45 0,76	0,61				
405.	11. 4. 38	17,34 13,18	15,26	3,39 4,50	3,95	17,53 20,42	18,98	1,14 0,25	0,70	0 0	0	2,02 1,52	1,77
469.	14. 6. 38	17,57 12,87	15,22	4,67 3,25	3,96	17,49 19,76	18,63	0,50 0,37	0,44	0,13 0,63	0,38	2,64 2,01	2,33

gedüngten Boden keine nennenswerte Bildung von Nitratstickstoff stattgefunden, der Stickstoff des Kalkstickstoffes ist lediglich bis zur Harnstoff- bzw. Ammoniakstufe abgebaut worden. Da die Umwandlung von Zyanamid in NH_3 über die Bildung

Tabelle 6.

Boden Braunschweig II.

20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 2. 3. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
2.	4. 3. 37	12,29 12,16	12,23	(11,17) (11,55)	(11,36)	28,42 28,68	28,55	7,95 8,21	8,08	11,27 11,25	11,26	8,17 8,28	8,23
4.	6. 3. 37	12,64 12,52	12,58	(9,47) (9,68)	(9,58)	29,24 28,91	29,08	7,31 7,84	7,58				
7.	9. 3. 37	13,12 13,28	13,20	8,87 8,62	8,75	28,46 28,75	28,61	8,51 7,85	8,18				
10.	12. 3. 37	13,02 13,07	13,05	8,91 8,53	8,72	28,85 28,95	28,90	8,69 7,99	7,34				
13.	15. 3. 37	16,43 16,43	16,43	8,49 8,35	8,42	29,20 29,56	29,38	7,85 7,83	7,84				
16.	18. 3. 37	19,02 18,41	18,72	7,86 7,34	7,60	29,75 29,70	29,73	7,33 7,60	7,47	12,35 12,34	12,35	7,52 7,79	7,66
30.	1 4. 37	25,78 25,58	25,68	8,46 8,34	8,40	31,54 31,80	31,67	8,51 8,23	8,37				
37.	8. 4. 37	27,71 27,25	27,48	8,36 8,39	8,38	32,32 32,45	32,39	7,96 8,09	8,03				
48.	19. 4. 37	30,80 30,57	30,69	8,63 8,37	8,50	33,42 33,61	33,52	7,94 7,81	7,88				
69.	10. 5. 37	32,60 32,67	32,64	7,89 7,77	7,83	34,31 34,41	34,36	7,76 7,62	7,69				
90.	31. 5. 37	34,24 34,31	34,28	7,76 8,19	7,98	34,38 35,39	34,89	8,45 8,04	8,25				
120.	30. 6. 37	36,14 36,28	36,21	8,30 7,61	7,96	36,73 37,15	36,94	7,75 7,89	7,82				
198.	16. 9. 37	37,91 38,49	38,20	9,80 8,96	9,38	40,67 40,44	40,56	8,27 8,11	8,19	24,24 23,45	23,85	8,17 7,91	8,04
240.	28. 10. 37	40,74 40,68	40,71	7,54 7,24	7,39	41,35 41,44	41,40	8,17 7,87	8,02				
308.	4. 1. 38	42,21 42,05	42,13	7,89 8,20	8,05	42,71 42,81	42,76	8,22 7,62	7,92				
421.	27. 4. 38	44,51 44,29	44,40	8,06 8,35	8,21	45,00 45,05	45,03	7,42 7,66	7,54	29,81 27,82	28,82	7,56 7,56	7,56

von Harnstoff geht, die durch katalytische Wirkung gewisser Bodenbestandteile bzw. Bakterientätigkeit gefördert wird, so ist es erklärlich, daß bei der Armut des Dahlembodens an kolloidalen Bestandteilen bzw. organischer Substanz, die Harnstoff- und somit die NH_3-Bildung ziemlich langsam verlaufen ist. Nach

Tabelle 7.

Boden Cöthen.

20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 23. 4. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
3.	26. 4. 37	8,14 8,26	8,20	(8,26) (8,32)	(8,29)	20,22 20,12	20,17	4,00 4,12	4,06	2,89 2,89	2,89	4,19 4,18	4,19
6.	29. 4. 37	15,28 15,26	15,27	(4,89) (4,89)	(4,89)	19,02 18,94	18,98	5,82 6,55	6,19				
10.	3. 5. 37	18,46 18,68	18,57	(6,25) (5,53)	(5,89)	17,09 17,32	17,21	7,77 8,13	7,95				
14.	7. 5. 37	19,36 19,45	19,41	(4,28) (4,27)	(4,28)	13,27 13,29	13,28	12,67 12,46	12,57				
19.	12. 5. 37	20,01 19,86	19,94	3,62 3,74	3,68	5,86 5,75	5,81	20,43 20,82	20,63				
33.	26. 5. 37	20,17 19,93	20,05	4,39 4,63	4,51	0,59 0,36	0,48	26,42 26,77	26,60				
47.	9. 6. 37	17,21 18,40	17,81	8,46 6,43	7,45	0 0,36	0,18	28,28 27,91	28,10	0,12 0,60	0,36	10,68 10,54	10,61
62.	24. 6. 37	10,71 12,75	11,73	15,76 13,35	14,56	0,36 0,60	0,48	28,22 27,76	27,99				
75.	7. 7. 37	3,84 6,12	4,98	24,21 21,35	22,78	0,72 1,20	0,96	28,21 28,07	28,14				
91.	23. 7. 37	0,48 0,84	0,66	27,81 27,54	27,68	0 0,24	0,12	28,57 28,30	28,44				
104.	5. 8. 37	0,18 0,18	0,18	28,06 28,12	28,09	0,42 0,54	0,48	28,34 28,29	28,32				
139	9. 9. 37	0,85 0,85	0,85	28,38 28,62	28,50	0,61 0,61	0,61	29,34 29,52	29,43	0,36 0,36	0,36	11,15 11,41	11,28
192.	1. 11. 37	0,25 0,25	0,25	28,55 28,58	28,57	0,49 0,24	0,37	29,62 29,45	29,54				
262.	10. 1. 38	0,48 0,12	0,30	29,64 29,89	29,77	0,12 0,24	0,18	30,18 29,65	29,92				
378.	6. 5. 38	0,60 0,85	0,73	29,93 30,48	30,21	0,60 0,36	0,48	31,26 31,26	31,26	0,25 0,37	0,31	13,28 13,31	13,30

etwa achtundvierzig Tagen wurde als Höchstwert ein Gehalt von rund 10 mg N als NH_3-N festgestellt, der sich im Laufe des Versuchs aber bis auf etwa 2 mg N verminderte. Da bei Abbruch des Versuchs nur ganz geringe Mengen von Nitrat-N nachgewiesen werden konnten, so ergibt sich die Tatsache, daß fast der gesamte Stickstoff des Kalkstickstoffes entwichen ist. Für einen Verlust und keine Festlegung spricht die Tatsache, daß der Gesamt-N-Gehalt des Bodens von 36,7 auf 20,9 mg

Tabelle 8.

Marschboden.

20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 2. 3. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am:	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
2.	4. 3. 37	8,59 8,52	8,56	(5,55) (5,60)	(5,58)	17,52 17,52	17,52	1,87 2,10	1,99	0,93 0,94	0,94	2,45 2,57	2,51
4.	6. 3. 37	12,37 12,55	12,46	(3,29) (3,35)	(3,32)	17,43 17,47	17,45	2,15 2,15	2,15				
7.	9. 3. 37	14,86 14,96	14,91	(2,33) (2,68)	(2,51)	16,69 16,58	16,64	3,34 3,34	3,34				
10.	12. 3. 37	15,94 16,03	15,99	2,04 2,15	2,10	15,66 15,46	15,56	4,90 4,91	4,91				
13.	15. 3. 37	15,90 16,00	15,95	2,39 2,51	2,45	14,57 14,58	14,58	6,33 6,21	6,27				
16.	18. 3 37	15,94 15,66	15,80	1,80 2,15	1,98	12,27 12,22	12,25	8,10 8,15	8,13	0,06 0,06	0,06	4,49 4,50	4,50
30.	1. 4. 37	15,60 15,47	15,54	2,30 3,24	2,77	0,48 0,77	0,63	22,42 22,20	22,31				
37	8. 4. 37	15,00 14,74	14,87	3,41 3,28	3,35	0,30 0,90	0,60	22,87 22,43	22,65				
48.	19. 4. 37	14,33 14,20	14,27	5,25 5,01	5,13	0,60 0,36	0,48	23,42 23,21	23,32				
64.	5. 5. 37	12,45 12,22	12,34	6,52 6,88	6,70	0,24 0,24	0,24	23,03 23,30	23,17				
83.	24. 5. 37	9,27 8,54	8,91	11,05 11,51	11,28	0,24 0,24	0,24	23,33 23,61	23,47				
101.	11. 6. 37	4,86 3,44	4,15	16,72 18,49	17,61	0,48 0,48	0,48	23,83 23,63	23,73				
132.	12. 7. 37	0,48 0,24	0,36	22,23 22,12	22,18	0,24 0,24	0,24	23,81 24,06	23,94				
198.	16. 9. 37	0,24 0,73	0,49	24,03 23,43	23,73	0,24 0,73	0,49	24,90 24,41	24,66	0,24 0,36	0,30	7,29 7,16	7,23
238.	26. 10. 37	0,24 0,24	0,24	23,65 23,20	23,43	0 0	0	24,87 24,82	24,85				
293.	20. 12. 37	0,47 0,24	0,36	23,66 23,92	23,79	0,48 0,36	0,42	24,70 25,08	24,89				
416.	22. 4. 38	0,48 0,24	0,36	25,04 25,08	25,06	0,24 0	0,12	25,92 25,92	25,92	0 0	0	8,25 8,24	8,25

N/100 g trockenen Boden bei Abbruch des Versuchs gesunken ist. Auf welche Weise der Verlust vor sich gegangen ist, läßt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, da die vorliegenden analy-

Tabelle 9.
Boden Oderbruch.
20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 23. 4. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am:	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
3.	26. 4. 37	18,44 18,47	18,46	2,26 2,51	2,39	20,32 20,44	20,38	2,13 2,26	2,20	4,96 4,82	4,89	2,20 2,26	2,23
6.	29. 4. 37	20,07 19,89	19,98	3,11 3,38	3,25	21,01 20,88	20,95	2,72 3,11	2,92				
10.	3. 5. 37	21,19 21,25	21,22	3,81 3,56	3,69	21,22 21,32	21,27	3,30 3,17	3,24				
14.	7. 5. 37	22,12 21,83	21,98	2,60 2,88	2,74	21,12 21,37	21,25	4,69 4,30	4,50				
19.	12. 5. 37	21,69 21,89	21,79	3,84 3,86	3,85	20,66 20,25	20,46	5,54 5,79	5,67				
33	26. 5. 37	21,11 21,23	21,17	5,99 6,12	6,06	17,35 17,46	17,41	10,44 10,16	10,30				
45.	7. 6. 37	19,36 19,76	19,56	9,62 9,10	9,36	14,29 14,12	14,21	15,40 15,37	15,39	1,05 1,18	1,12	14,08 14,19	14,14
60.	22. 6. 37	16,08 16,08	16,08	15,16 14,76	14,96	9,73 9,45	9,59	21,64 21,88	21,76				
73.	5. 7. 37	13,68 13,66	13,67	19,33 18,78	19,06	6,72 6,70	6,71	26,07 26,39	26,23				
89.	21. 7. 37	9,24 9,76	9,50	24,81 23,73	24,27	3,69 3,43	3,56	30,34 30,57	30,46				
101.	2. 8. 37	6,99 8,05	7,52	28,11 26,65	27,38	2,12 2,24	2,18	32,84 32,37	32,61				
137.	7. 9. 37	0,93 1,72	1,33	36,34 34,97	35,66	0,93 1,19	1,06	36,13 35,44	35,79	0,66 0,93	0,80	18,70 18,91	18,81
188.	28. 10. 37	0,40 0,40	0,40	37,91 37,64	37,78	0,40 0,40	0,40	37,03 37,01	37,02				
258.	6. 1. 38	0,66 0,13	0,40	39,14 40,02	39,58	0,40 0,13	0,27	39,16 38,92	39,04				
376.	4. 5. 38	0,93 0,66	0,80	42,55 42,41	42,48	0,40 0,66	0,53	40,43 42,30	41,37	0,40 0,67	0,54	24,65 24,81	24,73

tischen Daten eine Entscheidung darüber, welche der drei hier in Betracht kommenden Möglichkeiten eine Rolle gespielt hat, nicht treffen lassen.

In Betracht kommen folgende drei Möglichkeiten: Einmal kann eine Verflüchtigung des gebildeten NH_3-N eingetreten sein, ein Vorgang, der bei der schwachen Adsorptionskraft des Bodens und der Gegenwart von freiem CaO durchaus verständlich wird.

Tabelle 10.

Boden Rettgau.

20 mg N auf 100 g Bodentrockensubstanz in Form von:

Angesetzt am 23. 4. 37		Kalkstickstoff				$(NH_4)_2SO_4$				Ohne N			
		Gefundene mg N in 100 g Bodentrockensubstanz											
Tag nach dem Ansetzen	Probeentnahme am:	NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N		NH_3-N		NO_3-N	
		Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.	Einz.-Wert.	Mitt.-Wert.
3.	26. 4. 37	3,86 4,08	3,97	(4,84) (4,95)	(4,90)	7,97 7,97	7,97	4,28 4,27	4,28	0,35 0,52	0,44	3,99 3,81	3,90
6.	29. 4. 37	6,93 7,18	7,06	(4,96) (4,98)	(4,97)	7,55 7,54	7,55	4,76 4,87	4,82				
10.	3. 5. 37	7,04 7,74	7,39	(4,67) (4,79)	(4,73)	7,75 7,52	7,64	4,57 4,57	4,57				
14.	7. 5. 37	8,00 8,33	8,17	3,94 4,17	4,06	8,21 7,86	8,04	4,63 4,51	4,57				
19.	12. 5. 37	8,17 8,64	8,41	4,11 4,23	4,17	8,38 8,17	8,28	4,45 4,35	4,40				
33.	26. 5. 37	8,89 9,11	9,00	4,04 3,81	3,93	8,66 8,59	8,63	3,69 3,83	3,76				
47.	9. 6. 37	9,39 9,61	9,50	4,69 4,34	4,52	8,93 8,78	8,86	5,04 5,21	5,13	1,04 1,27	1,16	5,63 5,39	5,51
62.	24. 6. 37	10,00 10,18	10,09	4,82 4,56	4,69	9,03 8,39	8,71	5,51 6,18	5,85				
75.	7. 7. 37	10,28 10,99	10,64	4,85 4,62	4,74	8,20 8,15	8,18	7,20 6,69	6,95				
91.	23. 7. 37	9,46 10,14	9,80	5,37 5,01	5,19	7,84 7,83	7,84	7,49 7,48	7,49				
104.	5. 8. 37	10,29 10,95	10,62	5,24 4,74	4,99	7,43 7,77	7,60	8,48 7,88	8,18				
139.	9. 9. 37	10,25 10,46	10,36	5,42 5,40	5,41	5,30 5,98	5,64	12,06 10,60	11,33	0,59 0,35	0,47	9,43 9,43	9,43
192.	1. 11. 37	10,02 10,01	10,20	5,96 5,84	5,90	1,79 4,10	2,95	16,89 13,24	15,07				
383.	11. 5. 38	1,35 1,34	1,35	23,30 23,17	23,24	0,65 0,65	0,65	25,40 25,54	25,47	0,42 0,42	0,42	12,65 12,63	12,64
420.	17. 6. 38	0,60 0,71	0,66	24,42 23,63	24,03	0,36 0,36	0,36	25,71 25,28	25,50	0,12 0,36	0,24	13,36 12,62	12,99

Ferner kann eine rein chemische Denitrifikation eingetreten sein. Voraussetzung ist hierfür die Bildung von Nitrit. An der Möglichkeit einer solchen Bildung ist nicht zu zweifeln, da nitritbildende Bakterien sehr wohl in Gegenwart von freiem NH_3 existensfähig sind. (15.) Nimmt man also die Entstehung kleiner Mengen von Nitrit als gegeben an, so kann über die Bildung von NH_4NO_2 oder, wie Engel annimmt (16), die von Harnstoffnitrit eine

Denitrifikation eingetreten sein. Endlich ist auch die Möglichkeit einer rein mikrobiellen Denitrifikation nicht ohne weiteres abzulehnen.

Welcher Ursache ist nun die nur geringfügige Nitrifikation zuzuschreiben? Mit großer Wahrscheinlichkeit ist hierfür die

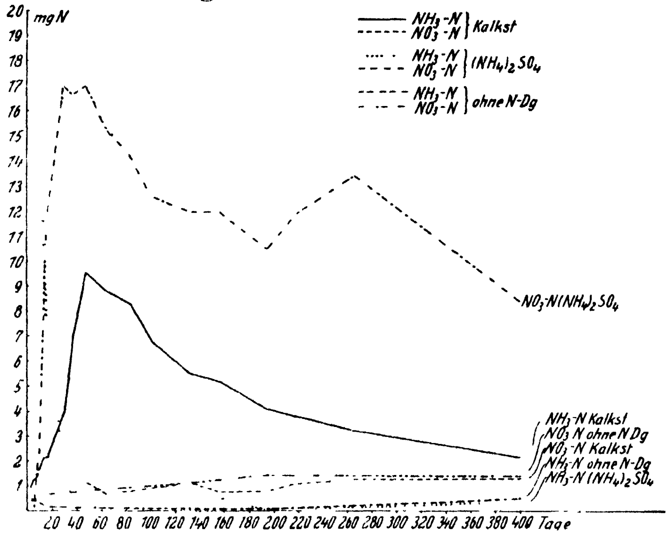


Abbildung 1. Boden Dahlem, Untergrund.

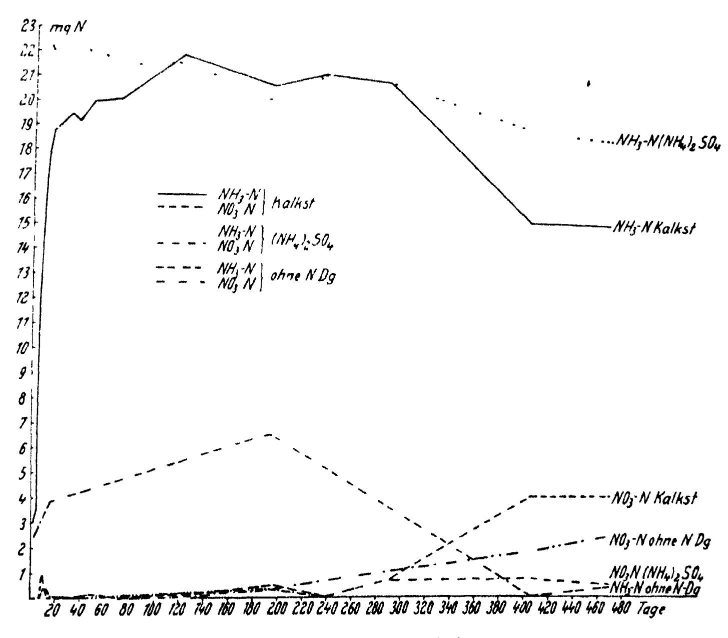


Abbildung 2. Boden Königsmoor.

Bildung von freiem NH_3 verantwortlich zu machen, da Nitrobakter gegen freies Ammoniak äußerst empfindlich ist. In zweiter Linie könnte man noch an die Empfindlichkeit der nitrifizierenden Bakterien gegen lösliche, organische Substanz denken, wobei im vorliegenden Falle das C des Kalkstickstoffes in Frage käme, und als dritter Grund kann angeführt werden, daß das sich als erstes Zwischenprodukt gebildete Zyanamid schädlich, wenn

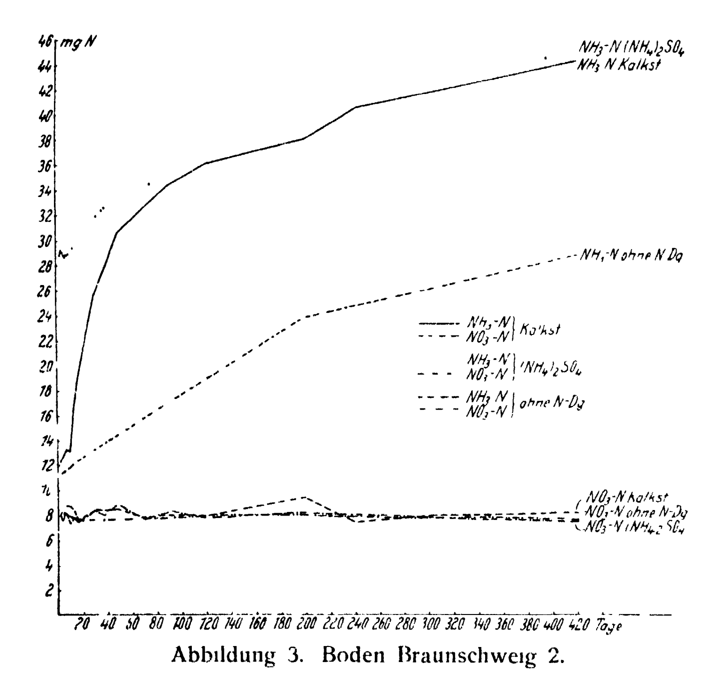


Abbildung 3. Boden Braunschweig 2.

Abbildung 4. Boden Cöthen.

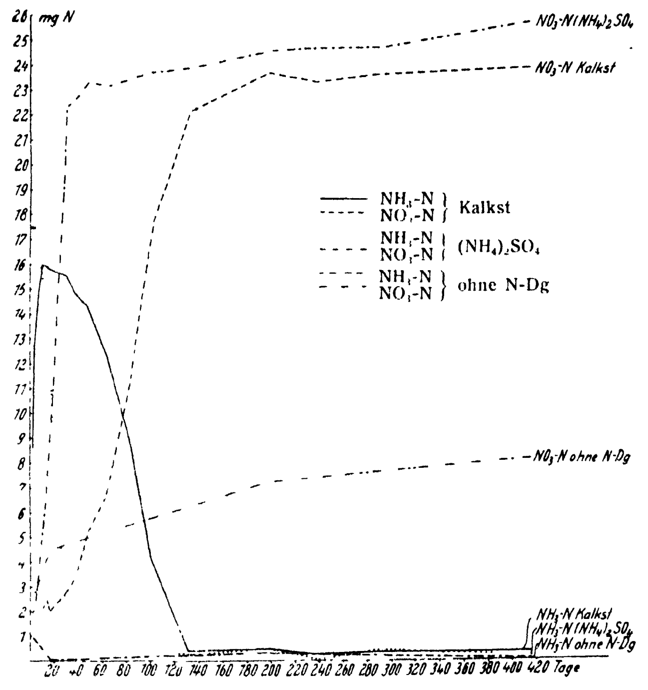


Abbildung 5. Boden Marsch.

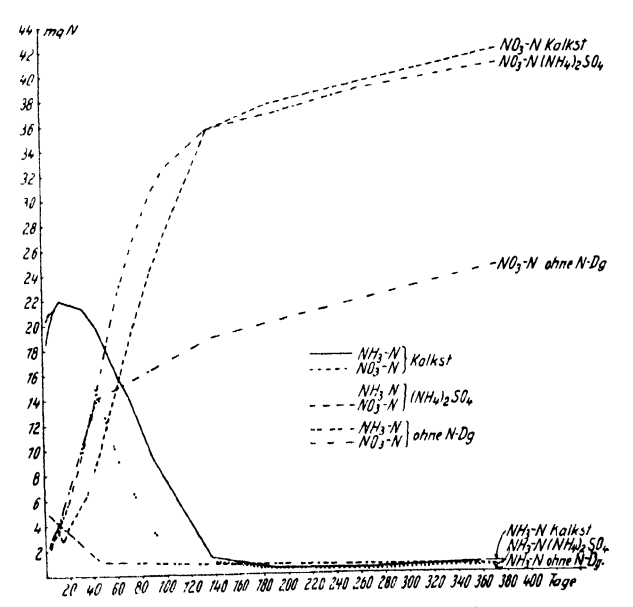


Abbildung 6. Boden Oderbruch.

nicht tödlich auf die nitrifizierenden Bakterien gewirkt haben kann.

Es ist vielleicht nicht überflüssig, hervorzuheben, daß es nicht angängig ist, auf Grund der obigen Befunde irgendwelche Schlüsse auf den Wert des Kalkstickstoffes als Düngemittel für leichte Böden zu ziehen, da die dem Boden für den Umsetzungsversuch verabreichte N-Düngung, die notwendig war, um sicher erfaßbare Analysenresultate zu erzielen, dem Vielfachen der N-

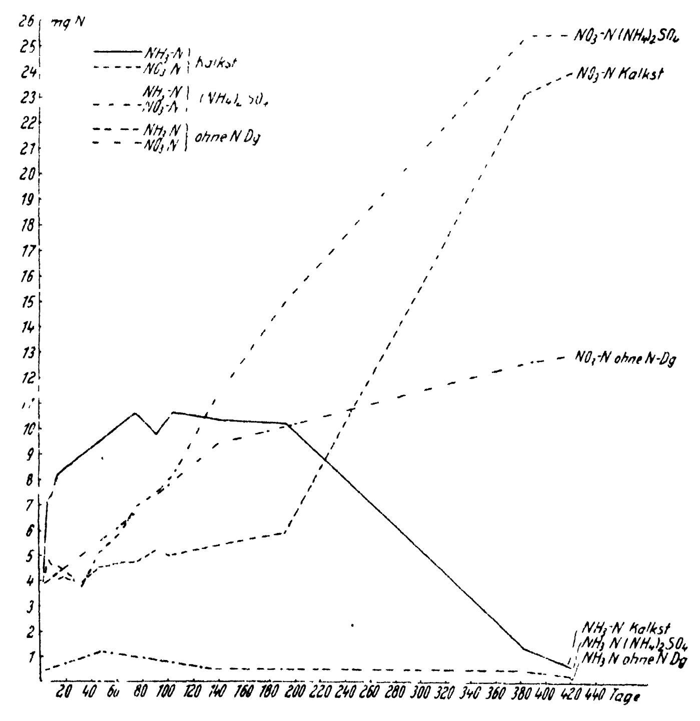


Abbildung 7. Boden Rettgau.

Gabe in der Praxis entspricht. Es ist durchaus möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß bei einer normalen N-Düngung normalerweise auch auf Sandböden 1. eine Nitrifikation des Ammoniak-N zu erwarten ist und 2., daß die N-Verluste kleineren Umfanges sind.

Boden Königsmoor.

Boden Königsmoor ist ein anmooriger, saurer Sandboden. Der Kurvenverlauf der Versuchsreihen 3 und 2 läßt darauf schließen, daß in diesem Boden Nitrit- und Nitratbildner, wenn überhaupt, so nur in geringer Zahl vorhanden sind. Der Boden vermochte weder das ihm in Reihe 2 gebotene Ammonsalz in nennenswerter Menge in die Nitrit- bzw. Nitratform überzuführen, noch das aus dem organisch gebundenen Stickstoff des Bodens gebildete NH_3-N. Den gleichen Verlauf hinsichtlich

der Nitrifikation zeigt im wesentlichen der Kurvenverlauf der Reihe 1 mit Kalkstickstoff. Bis zur vierzigsten Woche ungefähr ist keine beachtenswerte Nitratbildung des Ammoniakstickstoffes eingetreten. Dann aber setzte eine geringe Nitrit-Nitratbildung ein, es war ein Absinken der Menge des Ammoniakstickstoffes festzustellen und zugleich der Beginn eines geringen N-Verlustes. Die in Reihe 1 beobachtete Erscheinung des N-Verlustes tritt nach der gleichen Zeitspanne auch bei den Reihen 2 und 3 auf. Es handelt sich hierbei um einen wirklichen N-Verlust, wie es die Zahlen für Gesamt-N bei Abbruch des Versuches beweisen. Dieser N-Verlust ist z. T. auf Ammoniakverflüchtigung zurückzuführen, denn es war beim Mischen der Bodenproben der Versuchsreihen 1 und 3, so unwahrscheinlich es auch bei einem sauren Boden klingen mag, deutlich NH_3-Geruch wahrzunehmen; zum größeren Teil aber, wie das Kurvenbild klar erkennen läßt, war der N-Verlust wohl durch Umsetzungen rein chemischer Natur bedingt, verursacht durch die Bildung kleiner Mengen von NH_4NO_2 und darauf folgendes Entweichen von elementarem Stickstoff. Obwohl in dieser Arbeit davon abgesehen wurde, gesonderte Nitritbestimmungen auszuführen, so läßt doch der Ablauf der Umsetzungen im Boden Königsmoor, wie er sich in dem Kurvenbild Seite 23 darstellt, mit einer an Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit den Schluß zu, daß hier die Bildung von Nitrat gegenüber der von Nitrit völlig in den Hintergrund getreten ist.

Günstig auf die nitrifizierenden Bakterien, obwohl zu Ungunsten des N-Gehaltes des Bodens wirkte der Kalkstickstoff. Diese Wirkung ist zum Teil seiner spezifischen Wirkung (14), zum Teil seinem alkalisierenden Einfluß zuzuschreiben. Die geringste Nitrifikation ist bei der Zugabe von Ammonsulfat anzutreffen, dann folgt die der Versuchsreihe 3 und schließlich die der mit Kalkstickstoff gedüngten Bodenproben.

Was die Umsetzung des Kalkstickstoffes zu Ammoniakstickstoff anbelangt, so ist die Feststellung zu machen, daß die von K. Schmalfuß (7) in seiner Arbeit „Der Abbau des Zyanamids" vertretene Anschauung, daß den wichtigsten Faktor für den Abbau des Zyanamids zweifellos die Mikroorganismen darstellen, sich bei diesem Boden zu bestätigen scheint. Dieser Boden ist arm an feinerdigen Bestandteilen, er hat nur 2,3% abschlämmbare Teile. Der Abbau des Kalkstickstoffes zu Ammoniak müßte also hinsichtlich seiner Schnelligkeit weitgehend hinter der der kolloidreichen Böden zurückstehen, ja sogar hinter der des Bodens Dahlem mit 3,6% abschlämmbaren Teilen, was aber keineswegs der Fall ist. Es muß also noch ein anderer ausschlaggebender Faktor bei der Umsetzung eine Rolle gespielt haben, der in diesem Falle wohl die Tätigkeit von Mikroorganismen, insbesondere von Pilzen, bedeutet.

Zusammenfassend ist von Boden Königsmoor zu sagen, daß die Schnelligkeit der Umsetzung des Kalkstickstoffes zu Ammoniak-

stickstoff nur wenig hinter der der hier zum Versuch herangezogenen, sehr rasch umsetzenden Böden Oderbruch, Marsch und Cöthen zurücksteht. Eine Nitrifikation tritt spät und in nur geringem Umfange zu Ungunsten des Gesamt-N des Bodens ein.

Boden Braunschweig II.

Bei Boden Braunschweig II handelt es sich um einen humusreichen, sandigen Lehmboden von stark saurer Reaktion. Der zuletzt erwähnte Umstand läßt es verständlich erscheinen, daß diesem Boden Nitrit- und Nitratbildner vollständig fehlen. Die Nitratkurven sämtlicher drei Reihen fallen fast zusammen und laufen der Abszisse parallel.

Die Ammoniakkurve der Reihe 1 läßt erkennen, daß die Ammonifizierung des Kalkstickstoffes einen stetigen Verlauf genommen hat.

Wie die NH_3-Kurve für Reihe 3 zeigt, hat bei dem ohne N-Zugabe belassenen Boden eine erhebliche Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffes des Bodens stattgefunden. Ein analoges Bild bieten die Ammoniakkurven der Reihen 2 und 1. Die Bedingungen für eine starke Mineralisation waren bei Boden Braunschweig II günstig, da er einen hohen Gehalt an organischer Substanz aufweist, von der wahrscheinlich ein großer Teil in leicht assimilierbarer Form vorliegt, ein Umstand, der die Tätigkeit der Mikroflora begünstigte, die außerdem durch den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zu regerem Leben veranlaßt wurde.

Boden Köthen, Marsch, Oderbruch.

Der Umstand, daß bei diesen drei Böden die zugesetzte Menge Kalkstickstoff sich quantitativ in Nitrat-N umgewandelt hat, rechtfertigt eine gemeinsame Besprechung des Reaktionsverlaufes.

Bei Boden Köthen handelt es sich um einen humosen, lehmigen Feinsand mit 17,4% $CaCO_3$, bei Boden Marsch um einen humosen Lehmboden mit 6,4% $CaCO_3$ und bei Boden Oderbruch um einen stark humosen, schwach sauren Lehmboden. Diese drei Böden besitzen von den zur Untersuchung herangezogenen Böden mit Ausnahme von Boden Rettgau den höchsten Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen. Den Böden Cöthen und Marsch ist ferner eine alkalische Reaktion und zugleich ein hoher Gehalt an $CaCO_3$ gemeinsam. Boden Oderbruch hingegen ist schwach sauer. Diese Eigenschaft prägt sich in seiner im Vergleich zu den beiden anderen Böden etwas geringeren Nitrifikationskraft aus. Während bei den Böden Cöthen und Marsch ein Tiefstand an Ammoniak-N der Reihe 2 am dreiunddreißigsten bzw. dreißigsten Tage zu beobachten war, wurde ein solcher bei Boden Oderbruch erst nach etwa dem hundertsten Tage erreicht.

Interessant ist es nun bei den drei obengenannten Böden, die Umwandlung des Kalkstickstoffes zu Ammoniakstickstoff zu

verfolgen. Am dritten Tage nach dem Ansetzen hatte Boden Köthen 8,2 mg N/100 g trockenen Boden als NH_3-N vorliegen, im ursprünglichen Boden (Tab. 1) lagen etwa nur 2 mg N/100 g trockenen Boden als NH_3-N vor, mithin waren aus den zugesetzten 20 mg N des Kalkstickstoffes bereits etwa 6 mg N/100 g trockenen Boden zu NH_3-N umgewandelt, bei Boden Marsch waren am zweiten Tage nach dem Ansetzen aus den zugesetzten 20 mg N/100 g trockenen Boden des Kalkstickstoffes 6,5 mg N zu NH_3-N umgesetzt und bei Boden Oderbruch am dritten Tage nach dem Ansetzen 14 mg N. Die Schnelligkeit der Umwandlung des Kalkstickstoffes zu Ammoniakstickstoff lief demnach parallel mit dem Gehalt an feinerdigen Bestandteilen.

Wenn das Maximum der Ammoniakbildung erreicht war, setzte die Nitratbildung ein und schritt stetig fort. Allerdings war die Umwandlung des Ammoniakstickstoffes zu Nitratstickstoff keine so schnelle wie bei den Bodenproben der Reihe 2 mit Ammonsulfat. Für diese Tatsache sind zwei Erklärungen möglich: Einmal konnte der aus dem Kalkstickstoff gebildete Ammoniak-N von den Bodenkolloiden absorbiert und in für nitrifizierende Bakterien schwer angreifbare Verbindungen übergeführt oder aber von Bakterien als Eiweiß-N festgelegt worden sein. Es wäre aber auch denkbar, daß selbst bei diesen schweren Böden eine vorübergehende geringe Schädigung der nitrifizierenden Bakterien stattgefunden hätte. Diese Schädigung würde auf das Vorhandensein von freiem NH_3 zurückzuführen gewesen sein, denn obwohl diese Böden reich an kolloidalen Substanzen sind, war bei den Bodenproben der Reihe 1 bei Boden Cöthen von den ersten Tagen nach dem Ansetzen an bis über das Maximum der NH_3-Entwicklung hinaus ein deutlicher NH_3-Geruch wahrzunehmen und selbst bei Boden Oderbruch, dem schwach sauren Lehmboden, der hinsichtlich seiner Absorptionskraft an bevorzugtester Stelle steht, wurde bei den Bodenproben der Reihe 1 zur Zeit der intensivsten Umwandlung des Kalkstickstoffes zu Ammoniak-N Ammoniakgeruch wahrgenommen.

Bei allen drei Böden wurde organisch gebundener Stickstoff mineralisiert, und zwar ist dies jeweils bei allen drei Reihen eindeutig festzustellen. Eine außerordentlich günstige Einwirkung des Kalkes auf die Mikroflora des Bodens und daher sekundär auf die Mineralisation wurde bei dem leicht sauren Boden Oderbruch bei Reihe 3 beobachtet. Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, wohl aber auch der verhältnismäßig hohe Gehalt an Gesamtstickstoff, mit dem Boden Oderbruch unter den hier zur Untersuchung herangezogenen Böden an zweiter Stelle steht, und die zugesetzte Menge an kohlensaurem Kalk bewirkten, daß etwa 19 mg N/100 g trockenen Boden mineralisiert wurden, dagegen bei den Reihen 3 der Böden Cöthen und Marsch nur etwa 8,5 und 5 mg. Bei diesen beiden letztgenannten Böden dürfte der Feuchtigkeitsgehalt allein ausschlaggebend auf die erhöhte Tätigkeit der Mikroflora gewesen sein.

Boden Rettgau.

Boden Rettgau ist ein neutraler, humoser Lehmboden. Er zeigte hinsichtlich der Umwandlung der beiden N-Dünger ein Verhalten, das in der Art und in dem zeitlichen Ablauf der Umsetzung ein wesentlich anderes Bild bot, als es die anderen untersuchten Böden gezeigt hatten. Während bei den Böden Marsch, Cöthen und Oderbruch sehr bald bei Reihe 2 mit Ammonsulfat und bei Reihe 1 mit Kalkstickstoff nach Erreichung des Höchstwertes für Ammoniak eine rege Nitratbildung eintrat, die nach einer bestimmten, nicht allzulangen Zeit nicht oder kaum mehr zunahm, bei den Böden Königsmoor und Braunschweig II die Nitrifikationskurven fast während der ganzen Versuchsdauer beinahe parallel der Abszisse verliefen und bei Boden Dahlem eine Nitrifikation im wesentlichen nur bei der Düngung mit $(NH_4)_2SO_4$ stattgefunden hatte, verlief die Umsetzung bei Boden Rettgau hiervon völlig abweichend, wie ein Blick auf das Kurvenbild, S. 26, erkennen läßt.' Der Verlauf der NH_3- und der NO_3-Kurven der Reihen 1 und 2 ist durchaus gleichsinnig. Ein Unterschied besteht lediglich in zeitlicher Hinsicht. Von den dem Boden in Reihe 2 zugeführten 20 mg N / 100 g tr. Boden des Ammonsulfates treten im Höchstfalle etwa 9 mg N/100 g tr. Boden als NH_3-N in Erscheinung, der Rest war entweder vom Boden oder den Bakterien festgelegt, so daß erst nach verhältnismäßig langer Zeitdauer die nitrifizierenden Bakterien in Aktion treten konnten. Auch bei den Bodenproben der Reihe 1 wurde der aus dem Kalkstickstoff gebildete Ammoniakstickstoff, der sich durch den kolloid- und bakterienreichen Lehmboden wahrscheinlich in kürzester Zeit, ähnlich wie bei Boden Oderbruch, gebildet hatte, festgehalten und erst nach geraumer Zeit als Nitratstickstoff wiedergefunden. Bei den Bodenproben der Reihe 1 wäre es noch denkbar, daß ein Teil des Kalkstickstoff-N als Harnstoff-N vorlag und mithin bei der Untersuchung nicht gesondert erfaßt wurde.

Zusammenfassung.

Auf Grund der Ergebnisse der mit Kalkstickstoff auf sieben Böden verschiedenen Charakters durchgeführten Umsetzungsversuche läßt sich folgendes sagen:

1. Sämtliche sieben Böden waren fähig, das Zyanamid in NH_3-N umzusetzen. Die Geschwindigkeit, mit der diese Umsetzung bei den einzelnen Böden erfolgte, war durchaus verschieden. Bei den Böden Oderbruch, Marsch und Cöthen verlief die Umwandlung sehr rasch, langsamer bei den Böden Königsmoor, Braunschweig II und Dahlem, nicht erkennbar bei Boden Rettgau. Eine eindeutige Beziehung zwischen der Umsetzungsgeschwindigkeit und den physikalischen Konstanten der Böden ließ sich nicht ermitteln. Wenn auch als sicher anzunehmen ist, daß der verschieden hohe Gehalt an feinerdigen bzw. kolloidalen

Bodenbestandteilen einen bestimmenden Einfluß auf die Umwandlungsgeschwindigkeit ausgeübt hat, so scheinen hierbei doch auch noch andere Faktoren mitgewirkt zu haben.

2. Hinsichtlich der Nitrifikation des aus Zyanamid gebildeten NH_3 läßt sich eine der oben angegebenen Reihenordnung ähnliche aufstellen. Die Böden Marsch, Cöthen und auch Oderbruch, bei denen die Umwandlung in NH_3 am raschesten verlief, haben auch am raschesten nitrifiziert. Die Böden Königsmoor und Dahlem hatten keine nennenswerte Nitrifikation aufgewiesen. Bei Boden Braunschweig II erklärt sich das Ausbleiben jeglicher Nitrifikation durch seinen abnorm hohen Aziditätsgrad (p_H H_2O 3,68; Aust. Az. 47 ccm); bei Boden Königsmoor läßt sich die geringe Nitrifikation wohl auch zum Teil auf seine stark saure Reaktion, zum Teil aber auch ähnlich wie bei Boden Dahlem darauf zurückführen, daß diese relativ absorptionsschwachen Böden nicht imstande waren, das gebildete freie NH_3 festzulegen, wodurch eine Schädigung von Nitrobakter durch NH_3-Anhäufung eintrat. Die Böden Cöthen, Marsch und Oderbruch dagegen, bei denen eine rasch einsetzende und weitgehende Nitrifikation stattgefunden hatte, zeichnen sich durch einen großen Gehalt an feinerdigen Bestandteilen aus, so daß hier keine Anhäufung von freiem NH_3, also auch keine starke Schädigung der nitratbildenden Bakterien eintreten konnte.

Eine Nitratbildung des aus dem Kalkstickstoff gebildeten Ammoniak ist demnach im Boden nicht oder in nur geringem Umfange zu erwarten:

1. Wenn der Boden eine stark saure Reaktion besitzt, die die Lebenstätigkeit der nitrifizierenden Bakterien unterbindet,

2. wenn der Boden arm ist an feinerdigen Bestandteilen, so daß eine Anhäufung von freiem NH_3 eintreten kann, wodurch eine Schädigung oder Abtötung von Nitrobakter bedingt ist.

3. Eine Schädigung bzw. Abtötung von nitrifizierenden Bakterien kann auch durch Zyanamid erfolgen, das von kolloidarmen und in biologischer Hinsicht untätigen Böden nicht schnell genug in Harnstoff-N umgesetzt wird.

Schrifttum.

1. Ulpiani: Sitzungsprotokoll der Societa chimica Napoli, 1910.
2. Kappen, H.: Die Zersetzung des Zyanamids durch mineralische Bodenbestandteile. Fühlings Ldw. Ztg., Stuttgart, **59**, 1910, 657–679.
3. Kappen, H.: Die Katalyse des Zyanamids und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Habil. Schr., Jena 1913.
4. Stutzer, A., u. F. Reis: Untersuchungen über Kalkstickstoff und einige seiner Umsetzungsprodukte. J. Landw., Berlin, **58**, 1910, 65–76.
5. Stutzer, A., F. Reis, u. J. Söll: Neuere Beobachtungen über die Wirkung und die Eigenschaften von Kalkstickstoff. Fühlings Ldw. Ztg., Stuttgart, **59**, 1910, 413–420.
7. Schmalfuß, K.: Der Abbau des Zyanamids, Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **9./10.**, 1938, 273–305.
8 Giesecke, F., u. K. Schmalfuß: Über die Wirkung des Kalkstickstoffes im Vergleich zu anderen Stickstoffdüngern auf den Pflanzenertrag und über die Umsetzungen des Stickstoffes im leichten Boden. Ebenda, **1**, 1936, 348–355.

9. Schmalfuß, K.: Über die Wirkung des Kalkstickstoffes und anderer Stickstoffdünger auf die biologische Tatigkeit des Bodens. Ebenda, **2**, 1937, 110—120.
10. Giesecke, F.: Über die Beziehungen zwischen der mechanischen Zusammensetzung und der Hygroskopizität eines Bodens. J. Landw., Berlin, **76**, 1927, 33—40.
11. Vageler, P., u. F. Alten: Die Bestimmung der Summe S der sorptiv gebundenen Basen, des Sorptionsmoduls qs und der einzelnen sorptiv gebundenen Basen. Methoden f. d. Untersuchung d. Bodens, II., Berlin, 1934, 102—106.
12. König, J.: Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe. Berlin, 4. Aufl., 1911, 60.
13. Makkus, W.: Das Düngemittel Kalkstickstoff. Stuttgart, 1932.
14. Wolff, A., u. Gerda Wolff: Über den Einfluß des Kalkstickstoffes auf die Mikroflora des Bodens. Zlbl. Bakteriol., Jena, **81**, 1930.
15. Engel, H.: Zur Physiologie der Nitrifikationsorganismen im naturlichen Boden. I. Einfluß N-haltiger organischer Stoffe auf die Nitrifikation. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, **27**, 1933, 1 21.
16. Engel, H., u. A. Kaufmann: Umwandlung von Ammonnitrat und Harnstoff im Boden. Umsetzungen des Ammonsulfats im Boden. Ebenda, A, **29**, 1933, 1--24.

[251]

Über den Kalzium- und Magnesiummangel bei einigen Öl- und Gespinstpflanzen[1]).

Von **W. Schropp** und **B. Arenz.**

Aus dem Agrikulturchemischen Institut Weihenstephan der Technischen Hochschule München.

Eingegangen: 17 Oktober 1938

In Fortsetzung unserer Untersuchungen über die Erscheinungen des Nährstoffmangels bei den Öl- und Gespinstpflanzen (1) stellten wir Wasserkulturversuche an, welche die Auswirkung des Kalzium- und Magnesiummangels prüfen sollten.

Als Nährlösungen benutzten wir die in früheren Versuchen (2) als sehr brauchbar erkannten Mangellösungen nach Merkenschlager (3), die auf der Nährlösung nach v. d. Crone aufgebaut sind und folgende Zusammensetzung je 1000 ccm Wasser aufwiesen:

Vollständige Lösung	Lösung ohne Ca	Lösung ohne Mg
1,00 g KNO_3	1,00 g KNO_3	1,00 g KNO_3
0,25 g $Ca_3(PO_4)_2$	0,25 g K_2HPO_4	0,25 g $Ca_3(PO_4)_2$
0,25 g $Fe_3(PO_4)_2$	0,25 g $Fe_3(PO_4)_2$	0,25 g $Fe_3(PO_4)_2$
0,50 g $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$	0,25 g $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$	0,50 g $CaSO_4 \cdot 7\,H_2O$
0,50 g $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$	0,4 g K_2SO_4	
pH = 6,77	pH = 7,42	pH = 7,12

In der kalziumfreien Lösung wurde an Stelle von $Ca_3(PO_4)_2$ Dikaliumphosphat und für $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$ Kaliumsulfat eingeführt. Um etwaige Schäden zu vermeiden, wurde die Magnesiumgabe in Form von $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$ um die Hälfte verringert. Die Lösung ohne Mg wurde aus der vollständigen Lösung durch einfaches Weglassen des Magnesiumsulfates erhalten. Als zu-

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/13a, Federführender: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem.

sätzliche Eisengabe wurden je Liter Nährlösung 5 ccm Eisenphosphatgemisch (Dinatriumphosphat und Eisenzitrat) nach Dugger zugeführt. Spurenelemente, insbesondere Bor, dessen Unentbehrlichkeit für Raps, Rübsen, Ölrettich und Leindotter von uns erstmalig nachgewiesen werden konnte (4), wurden in Form der A — Z = Lösung nach Hoagland (1 ccm je Liter Nährlösung) eingebracht. Die Versuche wurden in 2 Liter Lösung fassenden Emailgefäßen angesetzt. Jede Gruppe umfaßte drei Vergleichsgefäße. Die im Sägmehlkeimbett vorgezogenen Pflanzen wurden auf den Holzdeckeln mit Schwammgummi befestigt.

Die Versuchspflanzen und die Anbaudaten der Versuche sind aus Tafel 1, die Ernteergebnisse aus Tafel 2 ersichtlich.

Tafel 1.
Anbaudaten der Versuche.

Versuchspflanze	Saat	Auflauf	Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer Tage
Sommerraps	4. 7.	9. 7.	12. 7.	8. 8.	28
Sommerrübsen	4. 7.	9. 7.	14. 7	8. 8.	26
Ölrettich	4. 7	9. 7.	12. 7.	8. 8.	28
Leindotter	4. 7	10. 7.	14. 7.	8. 8.	26
Senf	4. 7.	9. 7.	14. 7.	8. 8.	26
Faserlein	4. 7.	8. 7.	12. 7.	8. 8.	28
Öllein	4. 7.	8. 7.	12. 7.	8. 8.	28
Hanf	25. 7	30. 7.	2. 8.	24. 8.	23
Rizinus	8. 7.	22. 7.	28. 7.	15. 8.	19

I. Mangel an Kalzium.

1. Sommerraps. Im Gegensatz zu den in der vollständigen Nährlösung freudig wachsenden Pflanzen kamen beim Fehlen des Kalziums die Pflänzchen über das Keimlingsstadium nicht hinaus und waren nicht mehr in der Lage, das erste Laubblattpaar zu bilden (Abb. 1). Die violette Farbe des Stengels war stärker vertieft, die Farbe der Keimblätter wurde giftgrün. Der Blattrand zeigte nach einigen Tagen einen violetten Saum. Das Wachstum der Wurzeln war ebenfalls eingestellt; eine Nebenwurzelbildung war nicht festzustellen. Die Pflanzen starben nach Abtrocknen der Sproßspitzen und Keimblätter bald ab. Die Beobachtungen stimmen mit jenen früherer Versuche mit Winterraps völlig überein. Bei der Ernte konnte eine Trennung von Wurzel und Sproß nicht vorgenommen und lediglich das Gesamttrockengewicht festgestellt werden

2. Sommerrübsen. Bei dieser in Wasserkultur langsamer als Raps wachsenden Pflanze waren im wesentlichen die gleichen Beobachtungen festzustellen wie beim Raps.

3. Ölrettich. Im Vergleich zu Raps und Rübsen kam hier noch das erste Laubblattpaar teilweise zur Entwicklung. Die violette Säumung der Blattränder trat ebenfalls bald auf. Wurzelentwicklung, besonders Nebenwurzelbildung sehr stark gehemmt. Auch bei dieser Pflanze war nur eine Festlegung des Gesamtgewichtes möglich.

4. Leindotter. Die Pflanzen stellten kurze Zeit nach dem Einsetzen in die Ca-freie Lösung das Wachstum ein. Violett-

Tafel 2.
Ernteergebnisse der Mangelversuche in Wasserkultur zu Öl- u. Gespinstpflanzen.

Versuchspflanze und Art der Bestimmungen	Nährlösung ohne Ca	Nährlösung ohne Mg	Nährlösung vollständig
1. Sommerraps.			
Sproßtrockenmasse, g	0,08 ± 0,00	3,64 ± 0,12	4,36 ± 0,10
Trockensubstanzgehalt, %	—	16,90	22,53
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,37 ± 0,04	0,69 ± 0,04
Trockensubstanzgehalt, %	—	7,45	7,07
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100		10,16	15,82
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	1,83	83,49	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	53,62	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,44	7,40	7,51
2. Sommerrubsen.			
Sproßtrockenmasse, g	0,03 ± 0,00	2,30 ± 0,04	1,71 ± 0,04
Trockensubstanzgehalt, %	—	19,03	14,40
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,35 ± 0,01	0,83 ± 0,07
Trockensubstanzgehalt, %	—	6,31	7,53
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100		15,22	48,54
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	1,75	134,50	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	42,17	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,45	7,13	7,20
3. Ölrettich.			
Sproßtrockenmasse, g	0,43 ± 0,05	5,01 ± 0,30	5,59 ± 0,17
Trockensubstanzgehalt, %	—	26,45	22,46
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,48 ± 0,03	1,29 ± 0,03
Trockensubstanzgehalt, %	—	7,55	5,32
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	9,58	23,08
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	7,69	89,62	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	37,21	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,35	7,23	7,37
4. Leindotter.			
Sproßtrockenmasse, g	0,02 ± 0,00	1,34 ± 0,07	1,31 ± 0,03
Trockensubstanzgehalt, %	—	29,13	23,60
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,12 ± 0,00	0,17 ± 0,01
Trockensubstanzgehalt, %	—	8,37	7,19
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	8,95	12,98
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	1,53	102,29	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	70,59	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,42	7,19	7,34
5. Senf.			
Sproßtrockenmasse, g	0,28 ± 0,05	2,51 ± 0,07	3,31 ± 0,08
Trockensubstanzgehalt, %	—	20,85	20,95
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,20 ± 0,00	0,20 ± 0,01
Trockensubstanzgehalt, %	—	8,29	8,15
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	7,97	6,04
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	8,46	75,83	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	100,00	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,39	7,15	7,20

Tafel 2 (Fortsetzung).

Versuchspflanze und Art der Bestimmungen	Nährlösung ohne Ca	Nährlösung ohne Mg	Nährlösung vollständig
6. Faserlein.			
Sproßtrockenmasse, g	0,11 ± 0,01	2,55 ± 0,20	5,19 ± 0,15
Trockensubstanzgehalt, %	—	51,00	23,36
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,29 ± 0,02	1,37 ± 0,03
Trockensubstanzgehalt, %	—	12,97	11,36
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	11,37	26,40
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	2,12	49,13	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	21,17	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,41	7,25	7,41
7. Öllein.			
Sproßtrockenmasse, g	0,30 ± 0,04	3,50 ± 0,04	5,79 ± 0,06
Trockensubstanzgehalt, %	—	37,70	22,61
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,60 ± 0,06	1,80 ± 0,06
Trockensubstanzgehalt, %	—	15,30	12,63
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	17,14	31,09
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	5,18	60,45	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	33,33	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,45	7,27	7,24
8. Hanf.			
Sproßtrockenmasse, g	0,23 ± 0,01	1,18 ± 0,01	1,82 ± 0,03
Trockensubstanzgehalt, %	—	22,57	19,46
Wurzeltrockenmasse, g	—	0,22 ± 0,00	0,50 ± 0,02
Trockensubstanzgehalt, %	—	5,21	7,08
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	18,64	27,47
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	12,64	64,84	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	—	44,00	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,79	7,45	7,47
9. Rizinus.			
Sproßtrockenmasse, g	0,78 ± 0,05	1,36 ± 0,02	2,34 ± 0,04
Trockensubstanzgehalt, %	11,13	12,03	12,04
Wurzeltrockenmasse, g	0,43 ± 0,03	0,75 ± 0,06	0,93 ± 0,02
Trockensubstanzgehalt, %	7,51	7,11	6,70
Sproß: Wurzelverhältnis, Sproß = 100	—	55,15	39,74
Verhältniszahlen: Sproßgewicht	33,33	58,12	100,00
Verhältniszahlen: Wurzelgewicht	46,24	80,65	100,00
Anfangs-pH	7,42	7,12	6,77
End-pH	7,43	7,48	7,54

rotbraune Verfärbung und Einrollen der Keimblätter, keinerlei Nebenwurzelbildung (Abb. 1).

5. Senf. Bei einigen Pflanzen kam es zur Bildung des ersten Laubblattpaares, das jedoch, ähnlich wie die Keimblätter, sich tief violett verfärbte und bald abstarb. Das Wurzelwachstum war ebenfalls stark gehemmt.

6. Faserlein. Das Sproßwachstum und die Entwicklung der Laubblätter wurden frühzeitig stark gehemmt, die Sproßspitzen starben als erste ab. Farbe der Laubblätter hellgrün, später

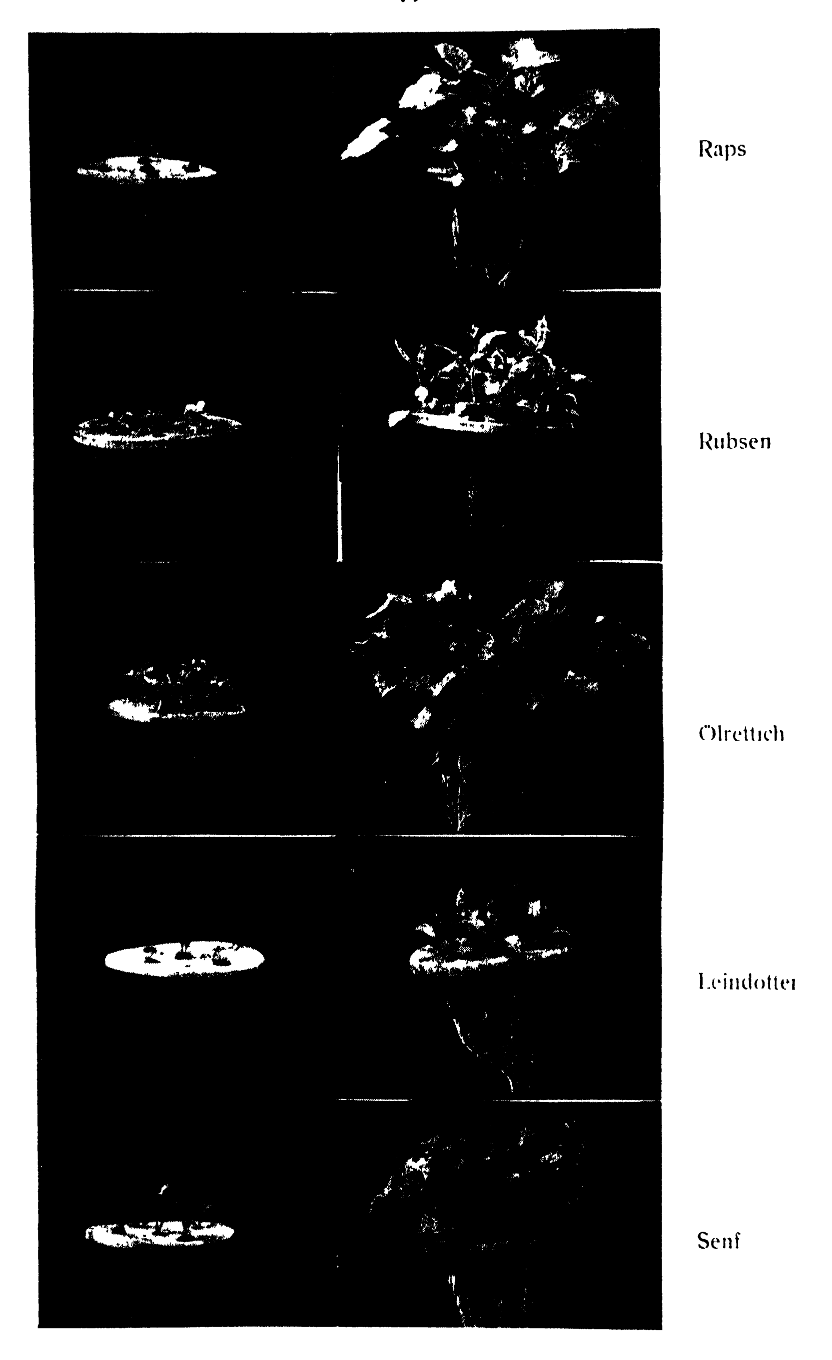


Abb. 1. Kalziummangel bei Raps, Rubsen, Ölrettich, Leindotter und Senf. Die Pflanzen links wuchsen jeweils in kalziumfreier Nährlösung, die Pflanzen rechts in Nährlösung mit Kalzium.

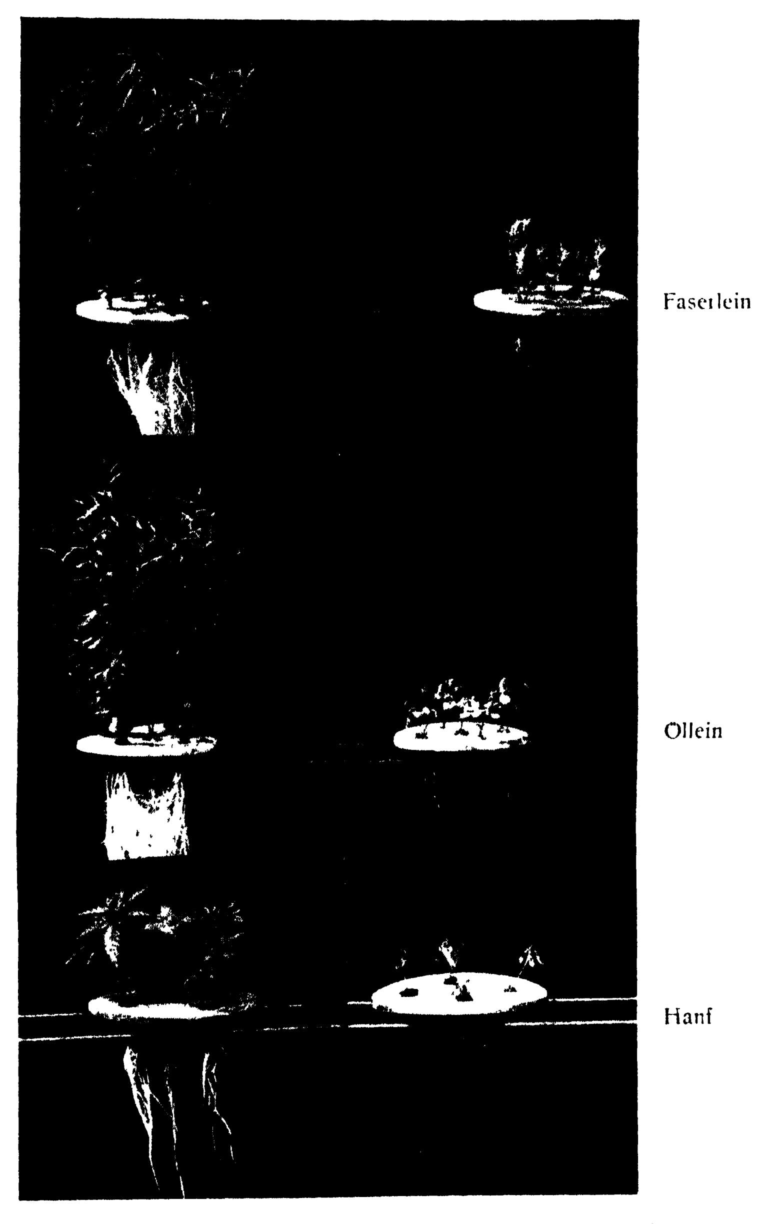


Abb. 2. Kalziummangel bei Faserlein, Öllein und Hanf. Die Pflanzen rechts wuchsen jeweils in kalziumfreier Nährlösung, die Pflanzen links in Nährlösung mit Kalzium.

weiß-grün; steil nach aufwärts gerichtet. Keimblätter z. T. eingerollt und mit braun-schwarzer Farbe vertrocknet. Absterben der Laubblätter von oben nach unten. Starke Schädigung des Wurzelwachstums. Die Farbe der Wurzeln ist schmutzig-grau; durch den spärlichen Ansatz von Seitenwurzeln erscheint das Wurzelnetz sperrig und büschelig (Abb. 2).

7. Öllein. Im Vergleich zum Faserlein geringe Unterschiede, jedoch machten sich die Schäden durch Kalkmangel frühzeitiger bemerkbar.

8. Hanf. Sproß- und Wurzelwachstum wurden sehr rasch und stark geschädigt. Farbe der Wurzeln schmutzig-braun. Absterben des Sprosses von oben nach unten unter gelblich-grauer Verfärbung (Abb. 2).

9. Rizinus. Die ersten Schäden wurden an den jüngsten Blättern beobachtet und äußerten sich in einer hellgelben, vom Blattrande beginnenden Verfärbung. Mit fortschreitender Schädigung war ein vollkommenes Vertrocknen des ganzen Blattes festzustellen. Die Anzeichen des Kalkmangels traten auf den Keimblättern später auf und bestanden aus Verkrümmungen, Verfärben und schließlichem Einreißen der Blattspreite. Die Wurzeln blieben kurz, eigentümlich verdickt und ließen eine nur geringe Seitenwurzelbildung erkennen (Abb. 9).



Raps

Ölrettich

Abb. 3. Magnesiummangel bei Raps und Ölrettich. Die Pflanzen rechts wuchsen in Mg-freier Nährlösung, die Pflanzen links in Nährlösung mit Magnesium.

Die Ernteergebnisse in Tafel 2 bestätigen die Betrachtungen, daß ohne Kalzium ein gedeihliches Wachstum und eine Substanzbildung unmöglich sind. Die zwischen den einzelnen Pflanzenarten bestehenden Unterschiede zwischen den Erträgen der in kalziumfreien Lösungen und in vollständigen Nährmedien aufgezogenen Pflanzen dürften neben den verschiedenen Samengewichten auch in deren wechselndem CaO-Gehalt zu suchen sein.

Nach den älteren Angaben von Stutzer sind in 1000 Teilen lufttrockenem Samen enthalten:

Pflanzenart	CaO	MgO
Raps	4,1	3,4
Rübsen	5,2	4,7
Senf	7,0	3,7
Lein	2,6	4,7
Hanf	10,9	2,6

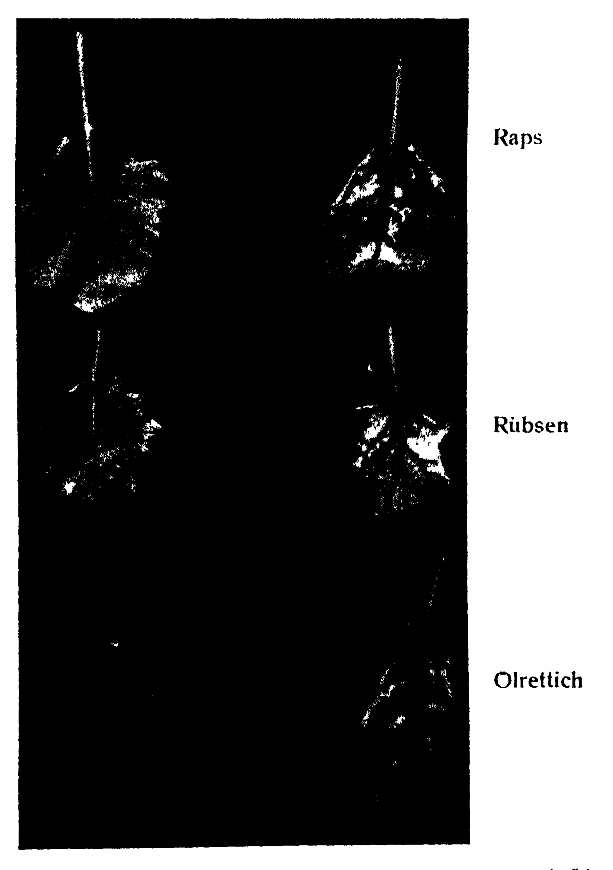


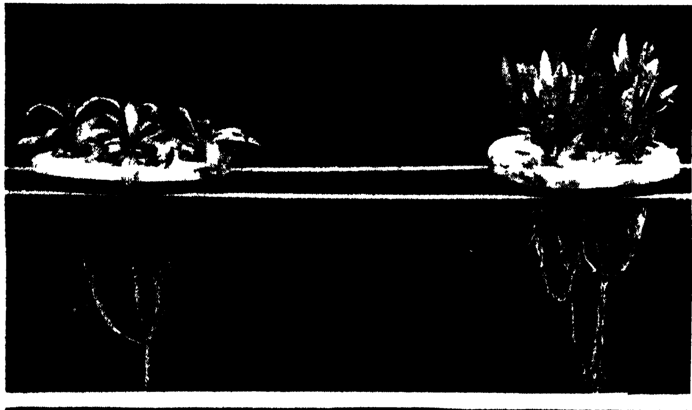
Abb. 4. Magnesiummangel an den Blättern von Raps, Rübsen und Ölrettich. Links jeweils Blätter von Pflanzen in Nährlösungen mit Mg, rechts Blätter von Pflanzen in Mg-freien Nährlösungen.

II. Mangel an Magnesium.

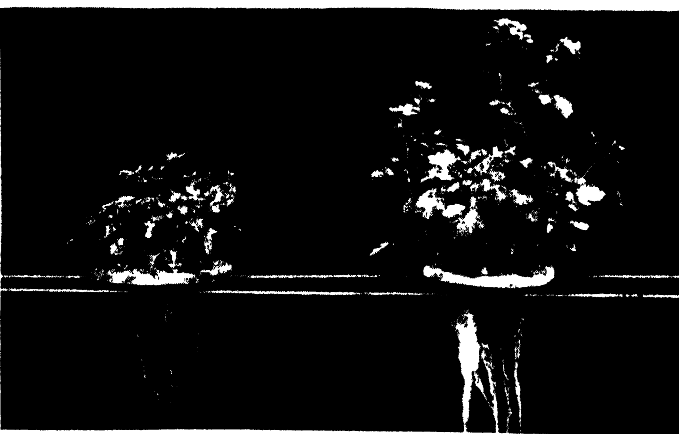
1. Sommerraps. In der Sproßentwicklung bestanden anfangs zwischen den Pflanzen in Mg-freier und Mg-haltiger Lösung geringe Unterschiede, später blieben die Pflanzen ohne Mg besonders im Höhenwachstum zurück (Abb. 3). Die Farbe der Blätter war etwas dunkler als bei den mit Magnesium versorgten Pflanzen. Auf den Blattspreiten der ältesten Blätter traten große, unregelmäßig verteilte, chlorophyllose, weiß-graue Flecken auf (Abb. 4).

2. Sommerrübsen. Das Wachstum des oberirdischen Teiles war in der magnesiumfreien Lösung deutlich besser als in der vollständigen Lösung, jedoch konnte auf den Blättern die gleiche Marmorierung beobachtet werden wie bei Raps.

3. Ölrettich. Verhältnismäßig spät machte sich eine leichte Hemmung des Sproßwachstums bemerkbar (Abb. 3). Auch die



Leindotter



Senf

Abb. 5. Magnesiummangel bei Leindotter und Senf. Die Pflanzen links wuchsen jeweis in Mg-freier, die Pflanzen rechts in Mg-haltiger Nahrlösung.

Fleckenbildung auf den älteren Blättern (Abb. 4) trat ziemlich spät auf.

4. Leindotter. Die ohne Mg gezogenen Pflanzen fielen durch ihre geduckte Haltung auf. (Abb. 5). An den ältesten Blättern traten, an der Spitze und den Rändern beginnend, Ausbleichungen des Blattgewebes auf, die zu völligem Absterben der befallenen Teile unter weiß-grauer Farbe führten (Abb. 6).

5. Senf. Die starre Haltung der Pflanzen und die schmutzig-



Abb. 6. Magnesiummangel an den Blättern von Leindotter und Senf. Links jeweils ein Blatt der Pflanze in Mg-haltiger, rechts ein Blatt der Pflanze in Mg-freier Nährlösung.

grüne Farbe der Blätter erinnern stark an die Symptome des Phosphorsäuremangels. Blütenbildung konnte nicht beobachtet werden (Abb. 5). Die Chlorophyllzerstörungen auf der Blattspreite wurden zuerst bei den ältesten Blättern festgestellt (Abb. 6).

6. Faserlein. Der Mg-Mangel machte sich in der Gesamtentwicklung in einem starken Zurückbleiben der Pflanzen bemerkbar. Die Pflanzen wurden stark chlorotisch. Die Blattspreite und Blattränder verfärbten sich später nach hellbraun und trockneten völlig aus. Die Blätter rollten sich dabei an der Längsachse ein (Abb. 7).

7. Öllein. Im wesentlichen die gleichen Erscheinungen wie beim Faserlein.

8. Hanf. Sproß- und Wurzelentwicklung bleibt gegenüber den Pflanzen in vollständiger Nährlösung zurück. Auffallend dunkelgrüne Farbe der jüngeren Blätter, auf den Interkostalfeldern der älteren Blätter sind Chlorophyllzerstörungen und weiß-graue Verfärbungen feststellbar (Abb. 8).

9. Rizinus. Das Wachstum des Sprosses ist stärker gehemmt als das Wurzelwachstum (Abb. 9). Mangelerscheinungen traten zuerst auf den ältesten Blättern auf. Während das Gewebe längs der Blattnerven gesund bleibt und seine dunkelgrüne Farbe behält, wird das dazwischenliegende Blattgewebe zerstört und stirbt, beginnend an den Blatträndern, mit grau-weißer Farbe ab (Abb. 10).

Die in Tafel 2 zusammengestellten Ernteergebnisse lassen zunächst erkennen, daß bei Leindotter und besonders Sommer-

rübsen ein nachteiliger Einfluß des Magnesiummangels auf das Sproßgewicht nicht stattgefunden hat. Da diese Tatsache mit den Unterschieden im prozentischen Trockensubstanzgehalt, der z. T. auch bei den übrigen Pflanzen besteht, allein nicht erklärt werden kann, muß vermutet werden, daß die Magnesiumgabe in der vollständigen Nährlösung zu hoch war. Das Wurzelgewicht wurde, ausgenommen Senf und Rizinus, durch Magnesiummangel stärker herabgesetzt als das Sproßgewicht. Ordnet man die in Versuch stehenden Pflanzen hinsichtlich der Auswirkung des Magnesiums auf die Sproß- und Wurzelerträge in abnehmender Reihenfolge ein, so ergeben sich die nachstehenden Rangfolgen.

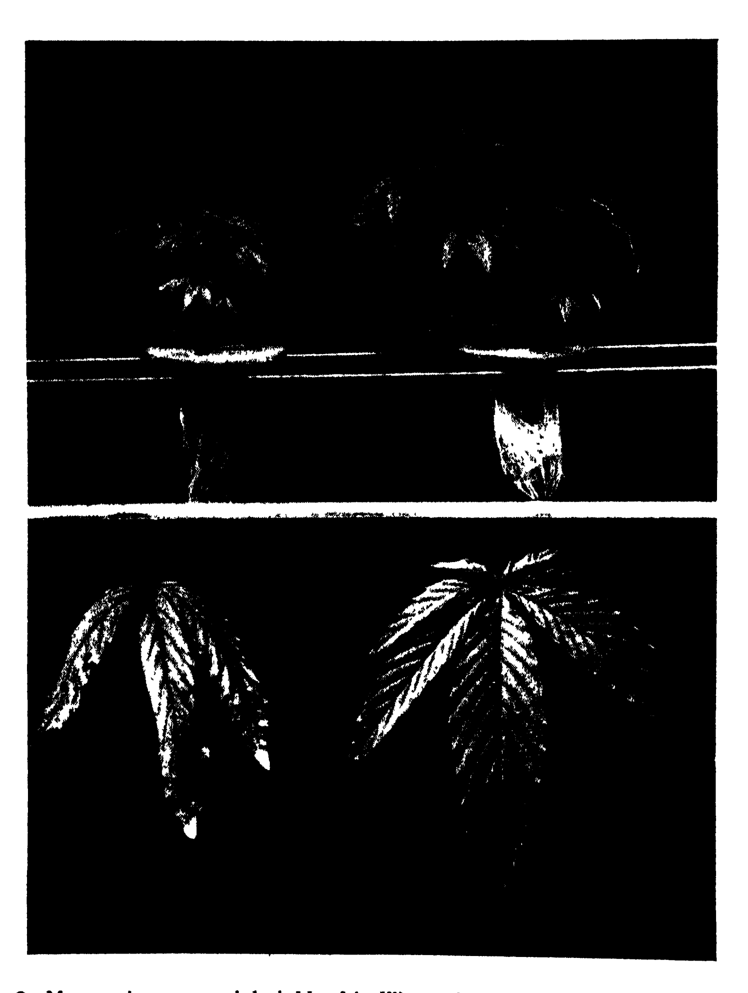


Abb. 8. Magnesiummangel bei Hanf in Wasserkultur. Die Pflanze links wuchs in Mg-freier, die Pflanze rechts in Mg-haltiger Nährlösung. Das Blatt links entstammt einer Pflanze ohne Mg, das Blatt rechts einer Pflanze mit Mg.

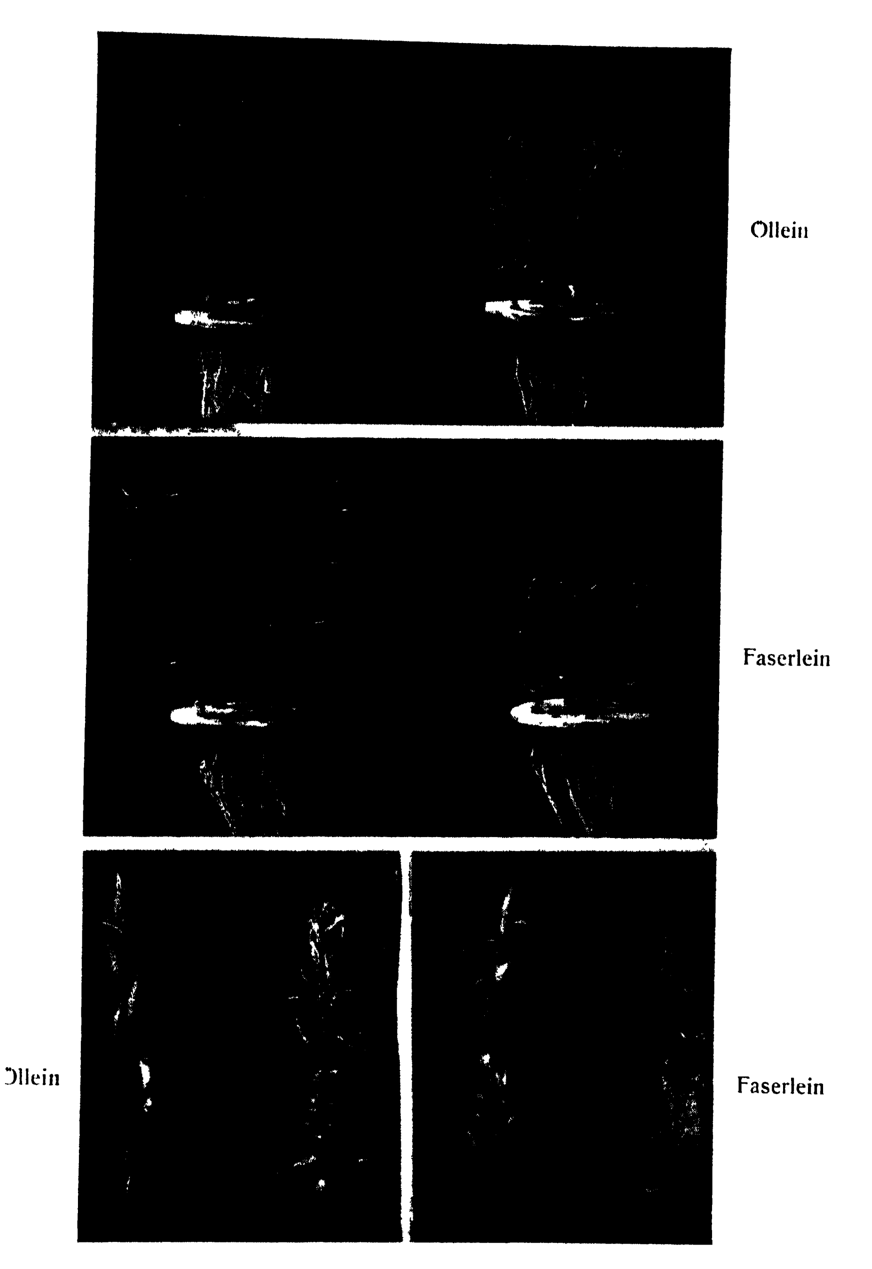


Abb. 7. Magnesiummangel bei Faser- und Öllein. Die Pflanzen rechts wuchsen in Mg-freier, die Pflanzen links in Mg-haltiger Nährlösung. Sproßspitzen von Öllein und Faserlein. Die Pflanze links wuchs jeweils in Mg-haltiger, die Pflanze rechts in Mg-freier Nährlösung.

Sproßgewicht	Wurzelgewicht
1. Faserlein	1. Faserlein
2. Rizinus	2. Öllein
3. Öllein	3. Ölrettich
4. Hanf	4. Rübsen
5. Senf	5. Hanf
6. Sommerraps	6. Sommerraps
7. Ölrettich	7. Leindotter
(8). Leindotter	8. Rizinus
(9). Rübsen	(9). Senf

Demnach benötigten Lein, Rizinus und Hanf mehr Magnesium als die der Familie der Cruciferen angehörenden Ölpflanzen Raps, Rübsen, Ölrettich, Leindotter und Senf.



Abb. 9. Ca- und Mg-Mangel bei Rizinus. Die Pflanze links wachst in Ca-freier, die Pflanze rechts in Mg-freier und die Pflanze in der Mitte in vollstandiger Nahrlösung.



Abb. 10. Magnesiummangel an den Blättern von Rizinus. Das linke Blatt wurde einer Pflanze in Mg-freier Nährlösung, das rechte Blatt einer Pflanze in Mg-haltiger Nährlösung entnommen.

III. Zusammenfassung.

1. Es wurde in Wasserkulturversuchen die Auswirkung des Kalzium- und Magnesiummangels auf Sommerraps, Sommerrübsen, Ölrettich, Leindotter, Senf, Faserlein, Öllein, Hanf und Rizinus geprüft.

2. In den kalziumfreien Lösungen kamen die Pflanzen über das Keimlingsstadium nicht hinaus. Die Erscheinungen des Kalziummangels wurden zuerst an der Wurzel und den jüngsten Blättern beobachtet.

3. Der Magnesiummangel wirkte in den meisten Fällen auf das Wurzelgewicht nachteiliger ein als auf das Sproßgewicht. Mangelerscheinungen (Marmorierung) traten zuerst auf den ältesten Blättern auf.

4. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen zeigten Lein, Rizinus und Hanf ein größeres Magnesiumbedürfnis als die der Familie der Cruciferen angehörenden Pflanzenarten, Sommerraps, Sommerrübsen, Ölrettich, Leindotter und Senf.

IV. Schrifttum:

1. Schropp, W.. Beiträge zur Kenntnis der Kalimangelerscheinungen bei einigen Öl- und Gespinstpflanzen. Ernährung d. Pflanze, **34**, 1938, 165 bis 170 und 181—186.
Schropp, W. Über den Phosphorsäuremangel bei einigen Gespinstpflanzen. Die Phosphorsäure, **6**, 1937, 163—168.
Schropp, W.: Beiträge zur Kenntnis des Phosphorsäuremangels bei einigen Ölfrüchten. Superphosphat, **13**, 1937, 131—138.
2 Schropp, W. und E. Zoller: Der Mangelversuch in Form der Wasserkultur. Landw. Versstat., **118**, 1934, 1—70.
Schropp, W. u. H. Soukup: Der Mangelversuch in Form der Wasserkultur II. Landw. Versstat., **122**, 1935, 263—322.
3. Merkenschlager, F.. Tafeln zur vergleichenden Physiologie und Pathologie der Kulturpflanzen. Berlin, O. Schlegel, 1927.
4. Schropp, W. und B. Arenz: Über die Wirkung des Bors auf das Wachstum einiger Öl- und Gespinstpflanzen. Der Forschungsdienst 1938. (Im Druck.)
[244]

Lysimeterversuche mit verschiedenen Stickstoffdüngern.

Von **C. Pfaff.**
(Landwirtschaftliche Versuchsstation Limburgerhof der I. G. Farbenindustrie.)
Eingegangen: 7. November 1938

Die Frage der Stickstoffauswaschung aus dem Boden wird in den Lysimeteranlagen auf der Landw. Versuchsstation Limburgerhof seit 1928 fortlaufend geprüft. Einige Ausführungen darüber wurden bereits in früheren Mitteilungen von uns gemacht (1). Hier findet sich auch eine nähere Beschreibung der Lysimeteranlagen.

Im vorliegenden Bericht sollen zunächst die in den Jahren 1928 bis 1935 gewonnenen Ergebnisse der Anlage A, soweit sie die Düngerstickstoffauswaschung betreffen, besprochen werden. Über die sonstigen Anlagen und über die Auswaschungen von Kalium, Phosphor und Kalzium wird später berichtet werden.

Die Anlage A besteht aus 40 würfelförmigen Betonkästen von je 1 cbm Fassungsvermögen.

Als Versuchsboden dient der schwach humose, alkalische Sandboden vom Limburgerhof, in einer Krumentiefe von etwa 40 cm. Der Untergrund ist gleichfalls dem Versuchsfeld Limburgerhof entnommen und besteht aus einer ungefähr 50-cm-Schicht von nährstoffarmem Rheinschwemmsand, der auf einer schwachen Kiesschicht aufgelagert ist. Das Bodenprofil in den Lysimetern entspricht demnach annähernd den natürlichen Verhältnissen auf dem Limburgerhof. Lediglich die Krume ist im natürlichen Boden des Versuchsfeldes mit ungefähr 25 cm Tiefe etwas flacher.

Der Krumenboden und der Untergrundsand sind durch folgende Daten gekennzeichnet:

	% Gesamt-N in der Trockensubstanz	Nach Neubauer in 100 g trock. Boden		% $CaCO_3$ in der Trock.-Subst.	pH in KCl-Suspension	% abschl. Teile nach Köttgen	% Humus nach Keyßner
		mg K_2O	mg P_2O_5			in der Trockensubstanz	
Krume	0,08	22,2	8,0	0,5	7,94	10,4	2,7
Untergrund	0,03	3,3	0,7	0,06	7,63	5,1	0,7

Der Düngungsplan umfaßt folgende Reihen, mit je vierfacher Wiederholung:

O	PK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK
		Harnstoff	Schwefelsaur. Ammoniak	Salzsaur. Ammoniak	Leunasalpeter	Kalkammonsalpeter	Natronsalpeter	Kalksalpeter	Nitrophoska

Die einzelnen Daten über Düngeranwendung, Einsaat usw. sind in der folgenden Übersicht aufgeführt:

Jahr	Datum der N-Gaben g/qm			Frucht	Einsaat	Aufgang	Niederschläge	
	Krume	Kopf	Kopf					
1928	6 g 23. 3.		—	Hafer	5. 4.	13. 4.	vom 23. 3. bis 27. 4.	65,7 mm
1929	6 g 15. 4.	—	—	Hafer	16. 4.	25. 4.	vom 15. 4. bis 9. 5.	24,6 mm
1930	6 g 3. 4.	—	—	Kartoffeln	19. 4.	12. 5.	vom 3. 4. bis 26. 5.	132,6 mm
1931	6 g 31. 3.	3 g 22. 6.	—	Mais	1. 5.	12. 5.	vom 31. 3. bis 26. 5.	113,5 mm
1932	6 g 22. 3.	—	—	Hafer	26. 3.	10. 4.	vom 22. 3. bis 24. 4	58,1 mm
1933 (2)	6 g 3. 5	3 g 15. 7.	—	Mais	9. 5.	23. 5.	vom 3. 5. bis 6. 6.	139,7 mm
1934	8 g 21. 3.	—	—	Hafer	27. 3.	7. 4.	vom 21. 3. bis 21. 4.	15,3 mm
1935	— —	3 g 4. 3.	5 g 29. 4.	Winter-Weizen	15. 12. 34	3.—17. 1. 35	vom 4. 3. bis 13. 5.	126,8 mm

Hier sind lediglich die Niederschläge vom Datum der Stickstoffgabe bis 14 Tage nach Aufgang der Saat angegeben, weil dieser Zeitraum für eine eventuelle Düngerstickstoffauswaschung besonders von Belang ist. Für 1935 sind die Niederschläge von der ersten Kopfdungung bis 14 Tage nach der zweiten Kopfdüngung aufgeführt. Die gesamten Niederschläge der Jahre 1928 bis 1935 sind in der Tafel 1 am Schluß des Berichts zusammengestellt.

Sickerwasser-Untersuchungen.

Die durchschnittlichen jährlichen Sickerwassermengen bei verschiedener Düngung waren in Litern/qm folgende:

mm Niederschlag 579 Gießwasser 144	O	PK	Harnstoff	Schwefel-Ammoniak	Salzsaures Ammoniak	Leuna-salpeter	Kalk-ammon-salpeter	Natron-salpeter	Kalk-salpeter	Nitro-phoska
	213 ± 6,0	236 ± 7,0	223 ± 3,8	220 ± 4,6	224 ± 3,8	220 ± 3,8	213 ± 5,0	224 ± 4,8	213 ± 3,4	213 ± 1,4

Die Werte ließen, unter Berücksichtigung des mittleren Fehlers, keinen wesentlichen Einfluß der verschiedenen Düngung auf die Sickerwassermengen erkennen. Immerhin zeigte sich die Tendenz zu einer verringerten Sickerwasserabgabe auf den NPK-Teilstücken gegenüber den PK-Teilstücken. Ganz eindeutig setzte die Stickstoffdüngung in manchen Jahren in den Monaten April und Mai die Sickerwassermengen durch vermehrte Pflanzenproduktion und durch vermehrten absoluten Wasserentzug der Pflanzen herab. Ein Beispiel hierfür wurde bereits früher gegeben (3).

Die Untersuchung des Sickerwassers erfolgte in Viertel-, spaterhin in Halbjahresabschnitten auf Ammoniak- und Nitrat-N (Destillation mit Arndscher Legierung). Der Stickstoff lag fast ausschließlich in der Salpeterform vor. Ammoniakstickstoff wurde zu einem Anteil von durchschnittlich nur 5% vom Gesamt-N gefunden. Der Gehalt an organischem Stickstoff war sehr gering. Er wurde nicht berücksichtigt.

Über die jährliche Auswaschung an Stickstoff in g/qm, gemessen vom 21. März eines Jahres bis zum 21. März des folgenden Jahres, unterrichtet folgende Zusammenstellung:

Ausgewaschene Stickstoffmengen im Sickerwasser.

Jahr	Liter Sickerwasser (qm) je Jahr im Durchschnitt aller Teilst.	Frucht	N-Gaben bei NPK g N qm	g N/qm im Sickerwasser									
				O	PK	Harnstoff	schw. Ammon.	salzsaures Ammon.	Leuna-salpeter	Kalk-ammon-salpeter	Natron-salpeter	Kalk-salpeter	Nitro-phoska
28	116	Hafer	6,0	6,2	6,0	5,9	5,8	6,0	5,9	5,9	5,9	7,2	6,5
29	126	Hafer	6,0	6,3	6,9	6,4	6,0	5,5	6,0	5,9	6,3	6,0	6,7
30	432	Kartoffeln	6,0	8,6	8,2	10,6	9,2	9,1	10,2	10,7	12,2	11,3	10,2
31	151	Mais	9,0	3,2	3,0	3,9	3,1	4,0	3,9	4,2	4,8	3,7	4,1
32	208	Hafer	6,0	8,8	8,9	8,6	8,2	8,6	8,3	7,5	7,9	7,8	8,0
33	298	Mais	9,0	9,5	9,8	14,7	13,7	14,6	14,8	14,0	14,7	15,9	13,9
34	213	Hafer	8,0	9,3	9,1	9,7	9,6	9,8	10,1	10,1	11,4	11,1	10,3
35	201	W.-Weizen	8,0	9,5	10,2	9,7	9,9	9,9	9,6	9,7	9,9	9,3	9,9
			Mittel:	7,7	7,8	8,7	8,2	8,4	8,6	8,5	9,1	9,0	8,7

Die gesamte jährliche Stickstoffauswaschung betrug in den Jahren 1928, 1929 und 1931 mit Sickerwassermengen von 100 bis 150 Litern 3 bis 7 g N/qm. In den Jahren 1930, 1932, 1933, 1934 und 1935 lagen die Sickerwassermengen über 200 Liter, bis maximal 430 Liter, und die ausgewaschenen Stickstoffmengen betrugen hier 8 bis fast 16 g N. Es besteht demnach eine deutliche Beziehung zwischen Sickerwassermenge und Höhe der Stickstoffauswaschung.

Der Vergleich der ausgewaschenen Stickstoffmengen auf den NPK-Teilstücken mit denen der PK-Teilstücke zeigt, daß in vier von acht Versuchsjahren (1930, 1931, 1933, 1934) Düngerstickstoff ausgewaschen wurde. Für diese teilweise verhältnismäßig hohen Verluste sind die längeren Zeitspannen zwischen Stickstoffgabe und Aufgang der Saat bzw. Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen (1930 und 1931) und die relativ großen Niederschlagsmengen in der fraglichen Zeit verantwortlich zu machen (vgl. Tabelle auf S. 46 unten). Vermutlich verminderte 1933 zudem eine starke Stallmistgabe den anfänglichen Bedarf der jungen Maispflanzen an mineralischem Düngerstickstoff. 1934 ging die Gabe von 8 g N vor der Saat zweitellos über den Jugendbedarf des Hafers hinaus. Soweit der Stickstoff nicht bald aufgenommen wurde, verfiel er zum Teil der Auswaschung, insbesondere waren die Salpeterdünger davon betroffen. Daß auch die Ammoniakdünger unter unseren Versuchsbedingungen hiervon nicht verschont blieben, mag darin seine Erklärung finden, daß das Ammoniak in dem biologisch sehr aktiven alkalischen Sandboden rasch der Nitrifikation anheimfiel und damit ebenfalls der Auswaschungsgefahr unterlag. Die Düngerstickstoffauswaschung war dabei (nach hier nicht aufgeführten Einzeluntersuchungen) etwa ab Mitte Mai nachweisbar.

Erfolgte die Einsaat der Pflanzen, den üblichen praktischen Bedingungen entsprechend, jedoch verhältnismäßig bald nach der Stickstoffdüngung, wie 1929 und 1932, oder wurde der Stickstoff als Kopfdünger gegeben (1935), so wurde kein Düngerstickstoff im Sickerwasser gefunden. Wir sehen dabei von den geringen Auswaschverlusten bei Kalksalpeter und Nitrophoska 1928 ab, zumal diese in das erste Versuchsjahr mit kleinen Unregelmäßigkeiten in der Sickerwasserabgabe fallen. In den Jahren 1929 und 1932 war die gesamte Stickstoffauswaschung auf den NPK-Teilstücken sogar noch etwas geringer als auf den PK-Teilstücken. Diese Erscheinung dürfte damit zu erklären sein, daß auf den NPK-Teilstücken die Sickerwasserabgabe infolge vermehrten Wasserbedarfs der Pflanzen geringer war als auf den PK-Teilstücken. Es ist bemerkenswert daß im Jahre 1935, in dem der Stickstoff als Kopfdünger zu Winterweizen gegeben wurde, die Pflanzen trotz der hohen Niederschläge (126,8 mm) den Düngerstickstoff restlos vor Auswaschung schützten.

Im Durchschnitt der acht Jahre betrug die jährliche Stickstoffgabe auf den NPK-Teilstücken 7,3 g/qm. In Prozenten hiervon wurden, gegenüber PK, ausgewaschen bei:

Schwefelsaurem Ammon.	Salzsaurem Ammon.	Harnstoff	Leunasalpeter	Kalkammonsalpeter	Nitrophoska	Natronsalpeter	Kalksalpeter
6%	8%	12%	11%	10%	12%	18%	16%

und gruppenweise zusammengefaßt im Mittel der

NH$_3$-Dünger	Amid- und NH$_3$ + NO$_3$-Dünger	NO$_3$-Dünger
7%	11%	17%

Man kann hiernach hinsichtlich der Auswaschungsgefahr den Harnstoff zu den NH$_3$ + NO$_3$-Düngern zählen, die zwischen den NH$_3$- und den NO$_3$-Düngern rangieren. Zwischen schwefelsaurem Ammoniak und salzsaurem Ammoniak bestand praktisch kein Unterschied in der Auswaschung, ebensowenig zwischen Natronsalpeter und Kalksalpeter.

Die jährliche Stickstoffauswaschung auf den NPK-Teilstücken (Mittel der acht N-Dünger) betrug im Verhältnis zur Stickstoffmenge, die aus dem PK Teilstück ausgewaschen wurde (letztere gleich 100 gesetzt), 111,6. Der Anteil des Stickstoffs im Sickerwasser, der auf Düngerstickstoff entfällt, war demnach verhältnismäßig gering.

Ernte-Untersuchungen.

Die auf den Lysimetern erzielten Erntemengen an Trockensubstanz und Stickstoff sind in Tafel 2 am Schluß des Berichtes aufgeführt. Sie entsprachen im allgemeinen guten Durchschnittserträgen vom Freiland, zum Teil lagen sie erheblich darüber. Nähere Einzelheiten sind aus Tafel 2 zu ersehen.

Wie zu erwarten war, wirkte sich die Düngerstickstoffauswaschung deutlich in einer verringerten Ertragsleistung der Stickstoffdünger aus. Eine kurze Gegenüberstellung von Stickstoffauswaschung und Stickstoffwirkung auf den Ertrag mag dies erläutern:

Im Durchschnitt der Jahre (4)	Frucht	Dünger-N-Auswaschung in % der N-Gabe	Ertragssteigerung durch NPK gegenüber PK in % von PK
1930 1933 1934	Kartoffeln Mais Hafer	35	19
1929 1931 1932 1935	Hafer Mais Hafer W.-Weizen	0	74

Demnach ging in den Jahren 1930, 1933 und 1934 eine erhebliche Auswaschung von Düngerstickstoff mit relativ geringer Stickstoffleistung einher. In den gleichen Jahren war die sonst häufig auftretende Überlegenheit der Salpeterdünger gegenüber den Ammoniakdüngern im Ertrag nicht vorhanden (vgl. Tafel 2),

Tafel

Jahr	Frucht	Düngung g N/qm	g Trockensubstanz Körner bzw. Knollen	g Trockensubstanz Stroh bzw. Kraut	g Trockensubstanz Gesamt	g N Gesamt	g Trockensubstanz Körner bzw. Knollen	g Trockensubstanz Stroh bzw. Kraut	g Trockensubstanz Gesamt	g N Gesamt
			O				PK			
1928	Hafer	6,0	280,3	464,5	744,8 ± 5,7	8,6	295,2	483,2	778,4 ± 11,4	8,4
1929	Hafer	6,0	300,7	489,6	790,3 ± 14,5	6,2	261,6	426,5	688,1 ± 13,1	5,8
1930	Kartoffeln	6,0	642,2	113,8	756,0 ± 20,4	7,6	690,1	113,1	803,2 ± 16,3	7,6
1931	Mais	9,0	157,1	760,8	917,9 ± 32,7	5,8	99,0	758,6	857,6 ± 20,5	5,1
1932	Hafer	6,0	239,0	371,9	610,9 ± 7,8	4,9	210,1	350,8	560,9 ± 11,8	4,8
1933	Mais*)	9,0			550,7 ± 15,4	5,0			552,6 ± 10,0	5,0
1934	Hafer	8,0	141,1	226,7	367,8 ± 6,6	4,0	134,3	235,9	370,2 ± 2,2	3,9
1935	W.-Weizen	8,0	127,8	231,7	359,5 ± 9,0	3,3	119,4	223,7	343,1 ± 5,9	3,2
			PK + Leunasalpeter				PK + Kalkammonsalpeter			
1928	Hafer	6,0	313,5	509,7	823,2 ± 27,1	10,8	309,3	512,5	821,8 ± 13,9	10,6
1929	Hafer	6,0	397,6	567,9	965,5 ± 14,8	8,7	406,2	560,9	967,1 ± 17,3	8,8
1930	Kartoffeln	6,0	715,7	118,3	834,0 ± 25,0	8,3	662,4	109,4	771,8 ± 16,6	7,6
1931	Mais	9,0	577,8	886,6	1464,4 ± 9,3	11,3	604,0	812,2	1448,2 ± 42,8	12,0
1932	Hafer	6,0	408,2	623,9	1032,1 ± 10,1	7,3	427,1	652,3	1079,4 ± 8,7	7,6
1933	Mais*)	9,0			727,2 ± 14,6	7,7			721,7 13,1	7,4
1934	Hafer	8,0	181,2	312,7	493,9 ± 5,7	7,2	173,6	311,6	485,2 ± 12,3	7,6
1935	W.-Weizen	8,0	250,8	493,6	744,4 ± 9,2	6,1	252,0	505,2	757,2 ± 5,9	7,2

*) Hier unterblieb die Trennung von Körnern und Stroh.

weil erstere besonders von der Auswaschung betroffen wurden. Die Jahre 1929, 1931, 1932 und 1935 zeigten eine sehr gute Stickstoffwirkung. Eine Auswaschung von Düngerstickstoff fand im Durchschnitt dieser vier Jahre nicht statt.

Die Aufnahme des Düngerstickstoffs durch die Pflanzen (siehe Tafel 2) betrug in den Jahren 1929, 1931, 1932 und 1935 mit guter Stickstoffleistung durchschnittlich annähernd 60%. Der gesamte achtjährige Durchschnitt wurde durch die starke Stickstoffauswaschung der Jahre 1930, 1933 und 1934 auf 44% Stickstoffaufnahme herabgedrückt.

Zusammenfassung.

Es werden die Ergebnisse von achtjährigen Lysimeterversuchen mit schwach humosem, alkalischen Sandboden, soweit sie die Stickstofffrage betreffen, mitgeteilt:

Die Stickstoffdüngemittel (Harnstoff, schwefelsaures Ammoniak, salsaures Ammoniak, Leunasalpeter, Kalkammonsalpeter, Natronsalpeter, Kalksalpeter und Nitrophoska) zeigten im Durchschnitt der Jahre keinen wesentlichen Einfluß auf die abgegebenen Sickerwassermengen gegenüber der stickstofffreien Grunddüngung (PK). Es bestand jedoch die Tendenz zur Verringerung des Sickerwasserabflusses durch Stickstoffdüngung,

g Trockensubstanz			g N Gesamt	g Trockensubstanz			g N Gesamt	g Trockensubstanz			g N Gesamt
Körner bzw. Knollen	Stroh bzw. Kraut	Gesamt		Körner bzw. Knollen	Stroh bzw. Kraut	Gesamt		Körner bzw. Knollen	Stroh bzw. Kraut	Gesamt	
PK + Harnstoff				PK + schwefels. Ammoniak				PK + salzsaures Ammoniak			
312,5	508,5	821,0 ± 10,9	10,7	306,4	500,4	806,8 ± 10,6	10,8	325,7	510,4	836,1 ± 22,1	10,8
420,5	564,2	984,7 ± 17,4	9,9	378,1	539,6	917,7 ± 12,3	8,6	379,5	548,7	928,2 ± 22,5	8,9
753,3	119,7	873,0 ± 4,9	8,5	806,3	135,5	941,8 ± 9,7	8,7	781,6	128,3	909,9 ± 8,3	8,7
540,9	922,5	1463,4 ± 17,8	10,9	616,7	864,0	1480,7 ± 10,5	12,1	558,1	920,2	1478,3 ± 16,0	11,6
357,7	593,2	950,9 ± 34,4	7,0	401,6	605,5	1007,1 ± 8,4	7,9	406,0	613,7	1019,7 ± 11,6	7,9
		758,4 ± 10,9	8,1			734,2 ± 18,7	7,6			731,8 ± 8,6	7,8
183,6	296,4	480,0 ± 4,3	6,5	189,2	314,0	503,2 ± 4,7	6,6	206,8	322,3	529,1 ± 3,2	7,4
259,1	497,7	756,8 ± 10,3	6,0	250,9	490,2	741,1 ± 1,6	6,0	269,6	502,2	771,8 ± 8,1	6,6
PK + Natronsalpeter				PK + Kalksalpeter				Nitrophoska			
327,4	556,7	884,1 ± 17,2	11,3	322,7	568,3	891,0 ± 19,2	11,2	279,4	502,5	781,9 ± 31,1	9,4
417,5	583,3	1000,8 ± 26,2	10,1	421,3	588,7	1010,0 ± 24,7	10,0	400,2	532,2	932,4 ± 20,9	8,8
599,2	109,8	709,0 ± 36,8	6,9	618,7	115,2	733,9 ± 30,8	7,2	750,4	114,8	865,2 ± 8,1	8,1
594,9	868,4	1463,3 ± 36,2	11,7	643,9	889,8	1533,7 ± 41,4	12,3	569,5	909,6	1479,1 ± 21,1	10,8
433,2	686,3	1119,5 ± 9,0	8,3	453,0	706,5	1159,5 ± 10,3	8,3	433,3	621,7	1055,0 ± 12,9	7,5
		738,1 ± 8,7	8,1			727,7 ± 9,6	7,9			728,2 ± 18,9	7,8
161,3	315,0	476,3 ± 11,1	8,0	168,6	316,7	485,3 ± 7,5	8,5	176,2	299,8	476,0 ± 7,5	7,3
264,3	540,7	805,0 ± 12,8	8,0	263,8	538,7	802,5 ± 10,9	7,6	262,1	503,1	765,2 ± 7,8	7,1

infolge vermehrten Pflanzenwuchses und gesteigerten Wasserentzuges durch die Pflanzen.

In feuchten Jahren mit relativ hoher Sickerwasserabgabe wurde auf allen, auch den ungedüngten Teilstücken, mehr Stickstoff ausgewaschen als in niederschlagsarmen Jahren.

Der Stickstoff im Sickerwasser lag fast ausschließlich in der Nitratform vor.

In vier von acht Jahren lagen zum Teil verhältnismäßig große Zeiträume zwischen Stickstoffdüngung und Pflanzensaat bzw. Aufgang (zwei bis sechs Wochen). Gleichzeitig fielen in dieser Zeit durchweg hohe Niederschläge. Unter diesen Bedingungen kam es zu beträchtlichen Düngerstickstoffauswaschungen, insbesondere bei den Salpeterdüngern.

Von der Auswaschung wurden auch Harnstoff und die Ammoniakdünger betroffen, was offenbar auf eine teilweise, verhältnismäßig rasche Nitrifikation des Ammoniakstickstoffs in dem biologisch sehr aktiven, alkalischen Sandboden zurückzuführen ist.

In den übrigen Jahren fand keine Düngerstickstoffauswaschung statt. Es waren dies Jahre, in denen die verschiedenen Stickstoffdünger, den üblichen praktischen Verhältnissen entsprechend, kurz vor der Saat bzw. als Kopfdüngung verabfolgt wurden.

Die in den Lysimetern erzielten Ernten entsprachen im allgemeinen guten Freilandserträgen. Soweit eine Düngerstickstoff-

auswaschung stattfand, führte sie zu deutlichen Ernteertragsausfällen.

Die Versuche weisen daraufhin, daß die oben erwähnten Stickstoffdüngemittel zweckmäßig zur Saat bzw. nach der Saat gegeben werden.

Tafel 1. Niederschläge mm.

Monat	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936
Januar	—	20,8	23,6	63,7	26,8	22,6	44,9	34,3	42,3
Februar	-	19,7	18,7	28,2	10,7	15,0	10,9	50,1	42,7
März	14,3	5,0	4,8	16,0	19,5	26,3	42,4	9,7	7,5*)
April	66,8	37,6	70,9	66,0	51,5	9,6	21,7	109,0	
Mai	39,5	14,7	103,4	62,7	83,3	139,1	20,8	64,6	
Juni	65,6	54,3	48,1	72,6	65,6	112,5	72,3	85,8	
Juli	50,2	50,8	79,0	77,7	92,3	22,2	44,2	16,3	
August	50,9	43,1	69,0	92,0	75,3	47,4	86,4	70,7	
September	22,1	31,6	65,3	35,3	72,0	35,5	38,4	42,8	
Oktober	54,8	39,4	105,9	15,4	71,5	73,1	39,5	49,7	
November	48,4	25,8	75,2	21,6	25,4	30,4	52,6	18,3	
Dezember	63,9	49,2	25,2	35,7	9,3	9,2	25,6	47,4	

*) Bis 21. 3. 1936.

Schrifttum und Anmerkungen.

1. Pfaff, C.: Über Lysimeter-Versuche. Forschungsdienst Berlin, Sonderh. 6, 1937, 102 Sonderh. 7, 1938, 60.
2. Außer der mineralischen N-Düngung wurden 4 kg Stallmist/qm am 10. 2. 1933 mit 19,4 g Gesamt-N gegeben.
3. Pfaff, C.: Über Lysimeter-Versuche. Forschungsdienst Berlin, Sonderh. 6, 1937, 108.
4. Das 1. Versuchsjahr 1928 ist bei dieser Zusammenstellung fortgelassen, da wahrscheinlich biologische Umsetzungen nach dem Einfüllen des Bodens in die Lysimeter die Beziehungen zwischen Auswaschung und Wirkung der Stickstoffdünger gestört haben. [254]

Stickstoff-Kopfdüngungsversuche zu Winterölfrüchten[1]).

Von **W. Schropp** und **B. Arenz.**

(Aus dem Agrikulturchemischen Institut Weihenstephan der Technischen Hochschule München.)

Eingegangen: 31. Oktober 1938.

I. Versuchsziel.

Die im Jahre 1936 begonnenen Versuche hatten es sich zur Aufgabe gestellt, die Wirkung einer Stickstoffkopfdüngung in Form verschiedener N-Düngemittel auf den Ertrag, Fettgehalt und Rohproteinleistung von Winterraps und Winterrübsen zu prüfen und weiterhin festzustellen, in welchem Ausmaße der im zeitigen Frühjahr gegebene Stickstoff von den Pflanzen ausgenutzt werden kann.

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/5d: Federführender Prof. Dr. K. Scharrer, Gießen. Einfluß der Düngung auf die Qualität bei Eiweiß- und Fettpflanzen.

II. Grundlagen der Versuchsanstellung.

Die Versuche wurden als Feldversuche in verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben der näheren Umgebung Weihenstephans durchgeführt, wobei sowohl die ortsübliche Anbauweise als auch die Grunddüngung mit Wirtschafts- und Handelsdüngemitteln beibehalten bzw. unverändert gelassen wurden. Die Teilstückgröße betrug $^1/_2$ bzw. $^1/_4$ a, die Anzahl der Vergleichsteilstücke je Düngungsart 5. Eine Ausnahme bildete der Versuch im Jahre 1936, der nur mit drei Vergleichsteilstücken durchgeführt werden konnte. Die Erträge sowie die Ergebnisse sämtlicher chemischer Untersuchungen wurden einheitlich auf einen Trockensubstanzgehalt von 86% umgerechnet.

III. Die einzelnen Versuche.

1. Versuch im Jahre 1936.

Der zu Winterraps auf Lehmboden durchgeführte Kopfdüngungsversuch umfaßte folgende Düngungsarten.

1. Ohne Kopfdüngung,
2. 60 kg N je ha als Leuna-Montan,
3. 60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter,
4. 60 kg N je ha als Chilesalpeter.

Die Grunddüngung betrug neben 225 dz Stallmist und 150 hl Jauche je ha 1,5 dz Nitrophoska kalkhaltig. Von der Grunddüngung wurden Stallmist und Jauche vor der Saat im Herbst 1935 ausgebracht, die Düngung mit Nitrophoska am 24. März 1936. Die Kopfdüngung wurde am 31. März verabreicht.

Der Versuch zeigte eine ungemein günstige Wirkung der Stickstoffkopfdüngung, wobei Unterschiede zwischen den einzelnen Stickstoffdüngemitteln nicht erkennbar waren. Die bei der Ernte am 15. Juli festgestellten Ergebnisse sind in Tafel 1 zusammengestellt. Hinsichtlich der sehr günstigen Wirkung auf den Kornertrag sind die drei geprüften N-Düngemittel praktisch einander gleichzusetzen. Der Stroherttrag wurde durch Leuna-Montan etwas stärker erhöht als durch Kalkammonsalpeter und Chilesalpeter. Das 1000-Korngewicht war bei Leuna-Montan niedriger als bei ohne Kopfdüngung, Chilesalpeter zeigt hingegen einen etwas höheren Wert. Das Hektolitergewicht war bei sämtlichen N-Düngungsarten um geringes niedriger als bei ohne Kopfdüngung. Das Korn : Stroh-Verhältnis wurde durch die Stickstoffdüngung ohne Unterschiede innerhalb der einzelnen N-Formen im Vergleich zu ohne Kopfdüngung günstig beeinflußt.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen der Körner sind in Tafel 2 zusammengestellt. Der prozentische Fettgehalt war bei den einzelnen N-Formen niedriger als bei ohne Kopfdüngung. Der niedrigste Fettgehalt innerhalb der geprüften N-Düngemittel wurde bei Kalkammonsalpeter, der höchste bei Chilesalpeter erzielt. Die absolute Fettmenge je ha wurde durch die Stickstoffkopfdüngung in teilweise beachtlichem Ausmaße erhöht, wobei Chilesalpeter erfolgreicher war als Leuna-Montan und Kalkammonsalpeter an die letzte Stelle gesetzt werden muß. Der N-Gehalt der Körner war durchweg bei den Stickstoffdüngemitteln höher als bei ohne Kopfdüngung, die absolute Rohproteinmenge wurde ebenfalls in beachtlichem Ausmaße erhöht. Leuna-Montan und Kalkammonsalpeter waren hier etwas erfolgreicher als Chilesalpeter.

Tafel 1. Ernteergebnisse eines N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps, Lembkes Hochzucht, auf Decklehm 1936.

Düngungsart	Kornertrag mit 14% H_2O		± gegen ohne Kopfdüngung	1000-Korngewicht	Hektolitergewicht	Strohertrag mit 14% H_2O		± gegen ohne Kopfdüngung	Korn : Stroh-Verhältnis	Verhältniszahl. ohne Kopfdüngung = 100		Reaktion der einzelnen Teilstücke bei Versuchsbeginn am 31. 3. 1936
	je ½ a in kg	je ha in dz		g	kg	je ½ a in kg	je ha in dz		Stroh = 1	Körner	Stroh	
Ohne Kopfdüngung	8,6 ± 0,75	17,2	—	4,75	63,8	40,6 ± 0,85	81,2	—	0,21	100,00	100,00	
60 kg N je ha als Leuna Montan	11,6 ± 0,24	23,2	+ 6,0	4,35	62,0	47,7 ± 1,60	95,4	+ 14,2	0,24	134,88	117,49	6,21, 5,84, 5,95
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	11,6 ± 0,22	23,2	+ 6,0	4,62	62,0	45,7 ± 0,34	91,4	+ 10,2	0,25	134,88	112,56	5,90, 5,74, 5,87
60 kg N je ha als Chilesalpeter	11,5 ± 0,38	23,0	+ 5,8	5,05	63,0	45,4 ± 0,66	90,8	+ 9,6	0,25	133,72	111,82	6,08, 5,75, 5,71

Tafel 2. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen bei dem N-Kopfdüngungsversuch zu Winterraps, Lembkes Hochzucht, auf Decklehm 1936.

Düngungsart	Fett %	Absolute Fettmenge dz/ha	± gegen ohne Kopfdüngung	N %	Rohprotein %	Absolute Rohproteinmenge dz/ha	± gegen ohne Kopfdüngung	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100	
								Fettmenge	Rohproteinmeng.
Ohne Kopfdüngung	43,27	7,44	—	2,99	18,69	3,21	—	100,00	100,00
60 kg N je ha als Leuna Montan	37,47	8,69	+ 1,25	3,09	19,31	4,48	+ 1,27	116,80	139,56
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	34,81	8,08	+ 0,64	3,06	19,13	4,44	+ 1,23	108,60	138,32
60 kg N je ha als Chilesalpeter	39,21	9,02	+ 1,58	3,01	18,81	4,33	+ 1,12	121,24	134,89

Tafel 3. Ernteergebnisse des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps auf tertiärem Decklehm in Pettenbrunn 1937.

Düngungsart	Körner mit 14 % H_2O je ½ a in kg	Körner mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	1000-Korngewicht g	Hektolitergewicht kg	Stroh mit 14 % H_2O je ½ a in kg	Stroh mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	Korn : Stroh-Verhältnis Stroh = 1	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Korn	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Stroh
Ohne Kopfdüngung	8,46 ± 0,18	16,92	93,27	4,64	66,20	29,77 ± 1,21	59,54	86,80	0,28	100,00	100,00
60 kg N je ha als Leuna Montan	10,80 ± 0,38	21,60	93,08	4,50	66,00	35,00 ± 0,89	70,00	86,45	0,31	127,66	117,57
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	11,74 ± 0,33	23,48	92,89	5,58	66,28	38,03 ± 0,56	76,06	86,95	0,31	138,77	127,75
60 kg N je ha als Chilesalpeter	11,46 ± 0,32	22,92	92,75	5,14	68,00	38,13 ± 1,06	76,26	85,35	0,30	135,46	128,08

Tafel 4. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps auf Lehm von Pettenbrunn 1937

Düngungsart	N % der Körner	Absolute N-Menge kg/ha	Rohprotein % der Körner	Absolute Rohproteinmenge kg/ha	Fett %	Absolute Fettmenge kg/ha	N % des Strohes	Absolute N-Menge kg/ha	Gesamt-N-Menge kg/ha	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Fettmenge	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 N-Menge der Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Rohproteinmenge der Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 N-Menge des Strohes	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Gesamt-N-Menge	N-Ausnützung %
Ohne Kopfdüngung	2,54	42,98	15,87	268,62	41,52	702,52	0,42	25,01	67,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	—
60 kg N je ha als Leuna Montan	2,77	59,83	17,31	373,94	41,23	890,57	0,42	29,40	89,23	126,76	139,20	139,21	117,55	131,23	37,06
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	2,82	66,21	17,62	413,81	40,93	961,04	0,46	34,99	101,20	136,79	154,05	154,05	139,90	148,84	55,35
60 kg N je ha als Chilesalpeter	2,86	65,55	17,87	409,69	41,03	940,41	0,54	41,18	106,73	133,86	152,51	152,52	164,65	156,98	64,50

2. Versuch im Jahre 1937.

I. Kopfdüngungsversuch zu Winterraps auf Lehmboden.

Der Versuch umfaßte folgende Düngungsarten:

1. Ohne Kopfdüngung,
2. 60 kg N je ha als Leuna-Montan,
3. 60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter,
4. 60 kg N als Chilesalpeter.

Als Grunddüngung wurden im Herbst 225 dz Stallmist und 150 hl Jauche, im Frühjahr 1,5 dz Nitrophoska kalkhaltig gegeben. Die Kopfdüngung wurde am 18. März verabreicht, der Versuch wurde am 10. April gehackt.

Der Versuch zeigte eine ungemein günstige Wirkung der Stickstoffkopfdüngung, wobei die Pflanzen mit Kalkammonsalpeter und Chilesalpeter ein etwas kräftigeres Wachstum zeigten als die Pflanzen mit Leuna-Montan. Die Blüte wurde ab 10. Mai beobachtet, die Ernte wurde am 2. Juli vorgenommen. Die höchsten Erträge an Körnern (Tafel 3) wie an Stroh erbrachten Kalkammonsalpeter und Chilesalpeter, Leuna-Montan steht dagegen etwas zurück. Das 1000-Korngewicht war am höchsten bei Kalkammonsalpeter dann folgt Chilesalpeter. Der Wert von Leuna-Montan liegt unter dem Wert von ohne Kopfdüngung. Das Hektolitergewicht zeigt innerhalb des Versuches mit Ausnahme der Düngungsart mit Chilesalpeter praktisch keine Unterschiede. Das Korn : Stroh-Verhältnis wurde gegenüber ohne Kopfdüngung günstig beeinflußt.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in Tafel 4 zusammengestellt. Der prozentische Fettgehalt der Körner wurde durch die Stickstoffdüngung in sehr schwachem Ausmaße erniedrigt. Die absolute Fettmenge war am größten bei der Düngung mit Kalkammonsalpeter und mit Chilesalpeter, dann folgt etwas zurück Leuna-Montan. Der prozentische N-Gehalt der Körner wurde durch die Stickstoffdüngung im Vergleich zu ohne Kopfdüngung erhöht. Der Rohproteinertrag wurde durch die Stickstoffdüngung in sehr beachtlichem Ausmaße gesteigert, wobei Kalkammonsalpeter und Chilesalpeter vor Leuna-Montan stehen. Der prozentische N-Gehalt des Strohes erfuhr durch die N-Düngung eine verhältnismäßig geringe Veränderung, lediglich bei der Düngung mit Kalkammonsalpeter und besonders Chilesalpeter wurde eine Erhöhung hervorgerufen. Durch die Bestimmung des N-Gehaltes des Strohes war eine Berechnung der N-Ausnützung möglich. Von den drei in Versuch stehenden N-Düngemitteln wurde der Stickstoff bei Chilesalpeter und Kalkammonsalpeter wesentlich besser ausgenutzt als bei Leuna-Montan.

Die Reaktion des Bodens der einzelnen Teilstücke wurde bei diesem Versuch am Anfang und am Ende der Versuchsdurchführung bestimmt. Aus der Tafel 5 kann entnommen werden, daß während des Versuches die Reaktion des Versuchsbodens sehr geringen Schwankungen unterworfen war, die praktisch wohl ohne Bedeutung sein dürfte.

Tafel 5.
Ergebnisse der Reaktionsbestimmungen bei dem N-Kopfdüngungsversuch zu Winterraps in Pettenbrunn 1937.

Düngungsart		pH in der KCl-Aufschlämmung	
		März 1937	Juli 1937
Ohne Kopfdüngung	1a	5,75	5,55
	b	5,50	5,35
	c	5,42	5,32
	d	5,38	5,37
	e	5,53	5,41
60 kg N je ha als Leuna Montan	2a	5,55	5,40
	b	5,44	5,33
	c	5,39	5,31
	d	5,35	5,45
	e	5,45	5,31
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	3a	5,47	5,31
	b	5,38	5,30
	c	5,36	5,30
	d	5,26	5,22
	e	5,41	5,48
60 kg N je ha als Chilesalpeter	4a	5,42	5,44
	b	5,31	5,35
	c	5,39	5,43
	d	5,33	5,36
	e	5,71	5,68

II. N-Kopfdüngungsversuch zu Winterrübsen auf Lehmboden.

Der Versuch umfaßte die gleichen Düngungsarten wie der Versuch zu Winterrübsen. Die im Herbst ausgebrachte Grunddüngung betrug 10 kg N je ha als Kalksalpeter, 50 kg P_2O_5 je ha als Superphosphat und 65 kg K_2O je ha als Kainit. Die für Rübsen verhältnismäßig niedrige Düngung erklärt sich daraus, daß das Feldstück im Jahre 1937 als Baugelände verwendet werden sollte und eine vollständige Nutzung des Rübsens als Kornerfrucht nicht sicher war. Die Kopfdüngung wurde am 18. März ausgebracht und der Versuch am 10. April gehackt. Die Blüte wurde ab 4 Mai beobachtet, die Ernte am 21. Juni vorgenommen. Der Rübsen zeigte sich für die N-Kopfdüngung sehr dankbar. Zwischen den einzelnen N-Formen bestanden verhältnismäßig geringe Unterschiede, die Pflanzen mit Chilesalpeter zeigten jedoch eine auffällig dunklere Farbe.

Die Ernteergebnisse in Tafel 6 zeigen eine ungemein starke Auswirkung der Stickstoffdüngung auf die Korn- und Stroherträge. Chilesalpeter und in etwas geringerem Ausmaße Kalkammonsalpeter waren auf den Kornertrag erfolgreicher als Leuna-Montan. Die höchsten Stroherträge erbrachte Chilesalpeter, dann Leuna-Montan, zuletzt Kalkammonsalpeter. Das 1000-Korngewicht wurde durch die Stickstoffdüngung nur bei Chilesalpeter erhöht, im Hektolitergewicht bestehen praktisch keine Unterschiede. Das Korn : Stroh-Verhältnis wurde durch die Stickstoffdüngung in sehr schwachem Ausmaße erniedrigt.

Tabelle 6. Ernteergebnisse des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterrübsen auf Lehmboden am Schafhof 1937.

Düngungsart	Körner mit 14 % H_2O		Trockensubstanz der Körner	1000-Korngewicht	Hektolitergewicht	Stroh mit 14 % H_2O		Trockensubstanz des Strohes	Korn: Stroh-Verhältnis	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100	
	je 1/2 a in kg	je ha in dz	%	g	kg	je 1/2 a in kg	je ha in dz	%	Stroh = 1	Korn	Stroh
Ohne Kopfdüngung	2,63 ± 0,17	5,26	91,63	4,28	67,60	9,08 ± 0,41	18,16	87,57	0,29	100,00	100,00
60 kg N je ha als Leuna Montan	4,60 ± 0,19	9,20	91,56	3,14	67,60	19,11 ± 0,54	38,22	87,30	0,24	174,90	210,46
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	4,77 ± 0,17	9,54	91,54	3,24	68,00	18,45 ± 0,36	36,90	86,92	0,26	181,37	203,19
60 kg N je ha als Chilesalpeter	5,34 ± 0,19	10,68	91,42	3,54	67,60	20,30 ± 0,44	40,60	87,27	0,26	203,04	225,57

Tabelle 7. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterrübsen auf Lehm im Schafhof 1937

Düngungsart	N % der Körner	Absolute N-Menge kg/ha	Rohprotein % der Körner	Absolute Rohproteinmenge kg/ha	Fett %	Fettmenge kg/ha	N % des Strohes	Absolute N-Menge kg/ha	Gesamt-N-Menge kg/ha	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100					N-Ausnützung %
										Fettmenge	N-Menge der Körner	Rohproteinmenge der Körner	N-Menge des Strohes	Gesamte N-Menge	
Ohne Kopfdüngung	2,93	15,41	18,31	96,31	34,85	183,31	0,60	10,90	26,31	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	—
60 kg N je ha als Leuna Montan	2,82	25,94	17,62	162,12	37,96	349,23	0,39	14,90	40,84	190,51	168,33	168,33	136,36	157,69	25,22
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	2,90	27,67	18,12	172,94	37,78	360,42	0,39	14,39	42,06	196,62	179,56	179,56	127,27	161,54	26,25
60 kg N je ha als Chilesalpeter	2,91	31,08	18,19	194,25	38,03	406,16	0,46	18,68	49,76	221,57	201,69	201,69	172,72	192,31	39,08

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in Tafel 7 niedergelegt. Bemerkenswerterweise wurde der prozentische Fettgehalt durch die Stickstoffdüngung deutlich erhöht wobei Chilesalpeter und Leuna-Montan um geringes erfolgreicher waren als Kalkammonsalpeter. Bedingt durch die hohen Ertragssteigerungen wurde auch die Fettmenge je ha in beachtlichem Ausmaße gesteigert, wobei Chilesalpeter deutlich vor Kalkammonsalpeter und Leuna-Montan steht. Der prozentische N-Gehalt der Körner wurde durch die N-Düngung im Vergleich zu ohne Kopfdüngung nicht beeinflußt. Wiederum bedingt durch die großen Ertragsunterschiede wurde durch die N-Düngung eine beachtliche Mehrleistung an Rohprotein erzielt, wobei Chilesalpeter vor Kalkammonsalpeter und Leuna-Montan steht. Da der N-Gehalt des Strohes, der bei den Pflanzen mit Stickstoffkopfdüngung wesentlich niedriger war als bei ohne Kopfdüngung, bestimmt wurde, ließ sich auch die N-Ausnützung berechnen. Die Ausnützung des Stickstoffes war niedrig und gestaltete sich verhältnismäßig am günstigsten bei Chilesalpeter.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen sind in Tafel 8

Tabelle 8.

Ergebnisse der Reaktionsbestimmungen bei dem N-Kopfdüngungsversuch zu Winterrubsen, Vorwerk Schafhof, 1937.

Düngungsart		pH in der KCl-Aufschlämmung	
		Marz 1937	Juni 1937
Ohne Kopfdüngung	1a	5,32	4,93
	b	5,01	4,84
	c	5,26	5,21
	d	5,02	5,11
60 kg N je ha als Leuna Montan	2a	4,96	4,56
	b	4,85	4,58
	c	5,39	5,11
	d	5,28	4,97
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	3a	5,13	4,87
	b	5,02	4,92
	c	5,37	5,17
	d	5,01	5,08
60 kg N je ha als Chilesalpeter	4a	4,89	4,89
	b	5,08	5,33
	c	5,31	5,26
	d	4,97	5,09

zusammengestellt. Der an und für sich saure Boden zeigte bei Versuchsende eine weitere deutliche Verschiebung ins saure Gebiet, wobei die geringste Veränderung der Bodenreaktion bei Chilesalpeter festzustellen ist.

Tafel 9. Ernteergebnisse des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps auf Decklehm in Pettenbrunn 1938.

Düngungsart	Körner mit 14 % H_2O je ¼ a in kg	Körner mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	1000-Korngewicht g	Hektolitergewicht kg	Stroh mit 14 % H_2O je ¼ a in kg	Stroh mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	Korn : Stroh-Verhältnis Stroh = 1	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Stroh
Ohne Kopfdüngung	5,14 ± 0,15	20,56	92,30	5,10	69,20	12,35 ± 0,49	49,40	86,85	0,42	100,00	100,00
60 kg N je ha als Leuna Montan	6,85 ± 0,17	27,40	92,14	4,45	68,00	14,73 ± 0,33	58,92	88,47	0,46	133,27	119,27
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	6,87 ± 0,06	27,48	92,22	5,00	69,20	15,67 ± 0,16	62,68	90,87	0,44	133,66	126,88
60 kg N je ha als Chilesalpeter	6,78 ± 0,04	27,12	92,05	4,95	65,80	14,50 ± 0,36	58,00	86,65	0,47	131,91	117,41
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	7,29 ± 0,15	29,16	92,16	4,75	59,60	15,32 ± 0,14	61,28	86,50	0,47	141,83	124,05
60 kg N je ha als Kalksalpeter	7,07 ± 0,07	28,28	92,04	5,15	67,20	15,66 ± 0,39	62,64	87,95	0,45	137,55	126,80

Tafel 10. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps auf Decklehm in Pettenbrunn 1938.

Düngungsart	N % der Körner	Absolute N-Menge kg/ha	Rohprotein % der Körner	Absolute Rohproteinmenge kg/ha	Fett %	Absolute Fettmenge kg/ha	N % des Strohes	Absolute N-Menge kg/ha	Gesamt-N-Menge kg/ha	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Fettmenge	N-Menge der Körner	Rohproteinmenge d. Körner	N-Menge des Strohes	Gesamt-N-Menge	N-Ausnutzung %
Ohne Kopfdüngung	3,13	64,35	19,56	402,15	34,98	719,19	0,77	38,04	102,39	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	-
60 kg N je ha als Leuna Montan	3,41	93,43	21,31	583,89	37,15	1017,91	0,75	44,19	137,62	141,53	145,19	145,19	116,17	134,41	58,72
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	3,36	92,33	21,00	577,08	35,88	985,98	0,77	48,49	140,82	137,09	143,48	143,50	127,47	137,53	51,40
60 kg N je ha als Chilesalpeter	3,41	92,48	21,31	577,93	34,72	941,61	0,66	38,28	130,76	130,93	143,71	143,71	100,63	127,71	47,28
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	3,34	97,39	20,87	608,57	36,02	1050,34	0,79	48,41	145,80	146,04	151,34	151,33	127,26	142,40	72,35
60 kg N je ha als Kalksalpeter	3,44	97,28	21,50	608,02	35,08	992,06	0,76	47,61	144,89	137,04	151,17	151,19	125,15	141,51	70,83

3. Versuche im Jahre 1938.

I. Kopfdüngungsversuch zu Winterraps auf Decklehm in Pettenbrunn.

Der Versuch umfaßte folgende Düngungsarten:

1. Ohne Kopfdüngung,
2. 60 kg N je ha als Leuna-Montan,
3. 60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter,
4. 60 kg N je ha als Chilesalpeter,
5. 60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat,
6. 60 kg N je ha als Kalksalpeter.

Die Grunddüngung im Herbst betrug je ha 225 dz Stallmist und 3 dz Nitrophoska kalkhaltig. Die Kopfdüngung wurde am 15. März verabreicht. Der Versuch wurde am 15. März und 15. Mai gehackt. Die Wirkung der Stickstoffkopfdüngung war eine sehr gute, wobei während des Wachstums wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Stickstoffdüngemitteln nicht festzustellen waren. Die Blüte wurde ab 13. Mai beobachtet. Die Ernte fand am 14. Juli statt.

Die Ernteergebnisse in Tafel 9 zeigen, daß durch die Stickstoffkopfdüngung eine sehr beachtliche Steigerung des Kornertrages stattgefunden hat, die durchweg größer war als die Erhöhung des Strohertrages. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Stickstoffdüngern sind zum Teil sehr gering. Kalkammonsalpeter, Leuna-Montan und Chilesalpeter erzielten praktisch gleich hohe Ertragssteigerungen und stehen gegen Kalksalpeter und besonders Stickstoffkalkphosphat etwas nach. Bei dem letzteren Düngemittel ist jedoch auch noch die Düngerwirkung der Phosphorsäure in Betracht zu ziehen. Der Strohertrag wurde am deutlichsten durch Kalkammonsalpeter und Kalksalpeter erhöht. Es folgen etwas zurück und in abnehmender Rangfolge Stickstoffkalkphosphat, Leuna-Montan und Chilesalpeter.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen in Tafel 10 lassen erkennen, daß der prozentische Fettgehalt durch die Stickstoffkopfdüngung in verschiedenartiger Weise beeinflußt wurde. Die Stickstoffkopfdüngung in Form von Chilesalpeter konnte im Vergleich zu ohne Kopfdüngung keine Erhöhung des prozentischen Fettgehaltes bewirken. Bei den übrigen in Versuch stehenden Stickstoffdüngemitteln fand hingegen eine zum Teil beachtliche Steigerung des prozentischen Fettgehaltes statt. An der Spitze stehen hier Leuna-Montan und Stickstoffkalkphosphat. Die absolute Fettmenge wurde durch die Kopfdüngung mit Stickstoffkalkphosphat und Leuna-Montan in stärkerem Ausmaße erhöht als durch die Düngung mit Kalkammonsalpeter, Kalksalpeter und Chilesalpeter. Der prozentische Stickstoffgehalt der Körner wurde durch sämtliche Stickstoffdüngemittel im Vergleich zu ohne Kopfdüngung etwas erhöht. Die je ha geerntete Rohproteinmenge in den Körnern wurde im Vergleich zu ohne Kopfdüngung durch Stickstoffkalkphosphat und Kalksalpeter in stärkerem Ausmaße gesteigert als durch Leuna-Montan, Chilesalpeter und Kalkammonsalpeter. Durch die gleichzeitige Bestimmung des prozentischen Stickstoffgehaltes des Strohes konnte

Tafel 11.

Ergebnisse der Reaktionsbestimmungen bei dem N-Kopfdüngungsversuch zu Winterraps auf Decklehm in Pettenbrunn 1938.

Düngungsart		pH in der KCl-Aufschlämmung	
		März 1938	Juli 1938
Ohne Kopfdüngung	1a	5,59	6,01
	b	5,44	5,93
	c	5,47	5,89
	d	5,42	5,79
	e	5,36	5,81
60 kg N je ha als Leuna Montan	2a	5,56	5,10
	b	5,63	5,21
	c	5,46	5,28
	d	5,43	5,29
	e	5,36	5,14
60 kg N je ha als Chilesalpeter	3a	5,36	5,20
	b	5,36	5,46
	c	5,35	5,46
	d	5,45	5,47
	e	5,43	5,36
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	4a	5,43	5,41
	b	5,45	5,59
	c	5,31	5,30
	d	5,25	5,33
	e	5,26	5,23
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	5a	5,28	5,41
	b	5,32	5,47
	c	5,39	5,39
	d	5,30	5,35
	e	5,28	5,31
60 kg N je ha als Kalksalpeter	6a	5,24	5,39
	b	5,19	5,55
	c	5,27	5,57
	d	5,28	5,17
	e	5,33	5,70

die Aufnahme des Stickstoffes für die gesamte Ernte festgestellt und hieraus die Ausnützung des Düngerstickstoffes berechnet werden. Die N-Ausnützung war bei Stickstoffkalkphosphat und Kalksalpeter sehr gut und wesentlich größer als bei Leuna-Montan, Kalkammonsalpeter und besonders Chilesalpeter.

Die Reaktion des Bodens der einzelnen Teilstücke wurde bei Versuchsbeginn und Versuchsende festgestellt. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen in Tafel 11 zeigen, daß der saure Boden bei Versuchsende auf den einzelnen Teilstücken ohne Kopfdüngung eine schwache Verschiebung seiner Reaktion in das alkalische Gebiet erfahren hat. Bei den Teilstücken mit verschiedenartiger Stickstoffdüngung ist bei Leuna-Montan eine zwar

Düngungsart	Körner mit 14 % H_2O je 1/4 a in kg	Körner mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	1000-Korngewicht g	Hektolitergewicht kg	Stroh mit 14 % H_2O je 1/4 a in kg	Stroh mit 14 % H_2O je ha in dz	Trockensubstanz %	Korn : Stroh-Verhältnis Stroh = 1	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Stroh
Ohne Kopfdüngung	3,91 ± 0,10	15,64	92,81	4,80	64,90	10,78 ± 0,43	43,12	84,45	0,36	100,00	100,00
60 kg N je ha als Leuna Montan	5,10 ± 0,10	20,40	92,54	4,25	63,60	14,18 ± 0,34	56,72	85,60	0,36	130,43	131,54
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	5,21 ± 0,08	20,84	92,53	4,25	67,20	14,58 ± 0,31	58,32	84,37	0,36	133,25	135,25
60 kg N je ha als Chilesalpeter	4,71 ± 0,05	18,84	92,53	4,30	64,00	14,37 ± 0,42	57,48	85,04	0,33	120,46	133,30
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	5,07 ± 0,11	20,28	92,49	4,55	66,00	14,25 ± 0,32	57,00	85,35	0,35	129,67	132,19
60 kg N je ha als Kalksalpeter	4,97 ± 0,09	19,88	92,31	4,15	63,60	14,49 ± 0,37	57,96	85,10	0,34	127,11	134,41

Tafel 13. Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des N-Kopfdüngungsversuches zu Winterraps auf Lehm von Dürnast 1938

Düngungsart	N % der Körner	Absolute N-Menge kg/ha	Rohprotein % der Körner	Absolute Rohproteinmenge kg/ha	Fett %	Absolute Fettmenge kg/ha	N % des Strohes	Absolute N-Menge kg/ha	Gesamt-N-Menge kg/ha	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Fettmenge	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 N-Menge d. Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Rohprotein d. Körner	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 N-Menge d. Strohes	Verhältniszahlen ohne Kopfdüngung = 100 Gesamt-N-Menge	% N-Ausnützung
Ohne Kopfdüngung	3,26	50,99	20,37	318,59	36,01	563,20	0,65	28,02	79,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	—
60 kg N je ha als Leuna Montan	3,30	67,32	20,62	420,65	35,59	726,04	0,67	38,00	105,32	128,91	131,82	132,03	135,62	133,30	43,84
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	3,33	69,40	20,81	433,68	37,46	780,67	0,61	35,57	104,97	138,61	136,10	136,12	126,94	132,86	43,26
60 kg N je ha als Chilesalpeter	3,46	65,19	21,62	407,32	36,82	693,69	0,68	39,09	104,28	123,16	127,85	127,85	139,51	131,98	42,11
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	3,32	67,33	20,75	420,81	35,70	724,00	0,84	47,88	115,21	128,55	132,04	132,08	170,88	145,82	60,33
60 kg N je ha als Kalksalpeter	3,32	66,00	20,75	412,51	37,66	748,68	0,65	37,67	103,67	132,93	129,43	129,47	134,44	131,21	41,10

geringe, aber einheitliche weitere Versäuerung festzustellen. Bei Kalkammonsalpeter, Chilesalpeter und Stickstoffkalkphosphat ist die Beeinflussung der Bodenreaktion nicht einheitlich. Es kann jedoch der Schluß gezogen werden, daß eine nachteilige Beeinflussung der Reaktion des Bodens nicht stattgefunden hat. Durch die Düngung mit Kalksalpeter wurde die Reaktion des Bodens der einzelnen Teilstücke mit einer Ausnahme in schwachem Ausmaße in das alkalische Gebiet verschoben.

II. Kopfdüngungsversuch zu Winterraps auf Lehmboden in Dürnast.

Der Versuch wurde nach dem gleichen Plan durchgeführt wie der Kopfdüngungsversuch in Pettenbrunn. Die im Herbst gegebene Grunddüngung betrug 22 kg N je ha als Kalkammoniak, 50 kg P_2O_5 je ha als Thomasmehl und 120 kg K_2O je ha als 40%iges Kalisalz.

Die Stickstoffkopfdüngung wurde am 18. März ausgebracht und der Versuch am 19. März und 5. Mai gehackt. Die Blüte wurde ab 16. Mai festgestellt, die Ernte am 15. Juli vorgenommen. Wesentliche Unterschiede im Wachstum der Pflanzen mit verschiedenen Stickstoffdüngemitteln waren nicht festzustellen. Hingegen konnte ein sehr günstiger Einfluß der Stickstoffdüngung im Vergleich zu ohne Kopfdüngung beobachtet werden.

Die Ernteergebnisse in Tafel 12 zeigen, daß durch die Stickstoffdüngung sowohl der Korn- wie auch der Strohertrag in sehr beachtlichem Ausmaße erhöht wurde. Die günstigste Wirkung wurde durch Kalkammonsalpeter und Leuna-Montan erzielt. Etwas zurück stehen Stickstoffkalkphosphat und Kalksalpeter, während Chilesalpeter an letzter Stelle eingereiht werden muß. Der Strohertrag wurde durch die verschiedenen Stickstoffdüngemittel in fast gleichheitlicher Weise erhöht. Das 1000-Korngewicht wurde durch die Stickstoffkopfdüngung im Vergleich zu ohne Kopfdüngung erniedrigt, wobei die geringste Erniedrigung bei Stickstoffkalkphosphat festzustellen ist. Die Beeinflussung des Hektolitergewichtes war nicht einheitlich. Während Leuna-Montan und Kalksalpeter im Vergleich zu ohne Kopfdüngung etwas niedrigere Werte erzielten, ist Chilesalpeter dem Wert von ohne Kopfdüngung gleichzustellen. Durch Stickstoffkalkphosphat und Kalkammonsalpeter wurde das Hektolitergewicht erhöht.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen in Tafel 13 zeigen zunächst, daß die Stickstoffkopfdüngung den prozentischen Fettgehalt in verhältnismäßig geringfügigem Ausmaße beeinflußt hat. Während bei Stickstoffkalkphosphat und Leuna-Montan ein niedrigerer Fettgehalt als bei ohne Kopfdüngung festzustellen ist, ist bei den übrigen Stickstoffdüngemitteln eine geringe Erhöhung eingetreten, die am deutlichsten bei Kalksalpeter war. Die absolute Fettmenge wurde durch Kalkammonsalpeter und Kalksalpeter in deutlicherem Ausmaße gesteigert als durch Leuna-Montan, Stickstoffkalkphosphat und Chilesalpeter. Der prozentische Stickstoffgehalt der Körner wurde durch Kopfdüngung in verhältnismäßig sehr geringem Ausmaße gegenüber ohne Kopfdüngung erhöht. Bedingt durch die größeren Ertragsunterschiede konnte durch

die Stickstoffkopfdüngung die Rohproteinmenge in den Körnern deutlich gesteigert werden, wobei wiederum Kalkammonsalpeter an erster Stelle steht. Es folgen dann Stickstoffkalkphosphat und Leuna-Montan, weiter zurück Kalkammonsalpeter und Chilesalpeter. Da auch bei diesem Versuch der Stickstoffgehalt des Strohes bestimmt wurde, war auch hier eine Berechnung der Stickstoffausnützung möglich. Die günstigste Ausnützung des Düngestickstoffs ist bei Stickstoffkalkphosphat festzustellen. Die N-Ausnützung bei den übrigen in Versuch stehenden Stickstoffdüngemitteln war wesentlich geringer und die Unterschiede untereinander sind so geringfügig, daß die Aufstellung einer Rangfolge nicht notwendig erscheint.

Die Reaktion des Versuchsbodens wurde auch bei diesem Versuch bei Beginn und Ende festgestellt. Auf den Teilstücken ohne Kopfdüngung ist bei Versuchsende eine schwache Verschiebung der Bodenreaktion in das saure Gebiet festzustellen. Die Reaktion des Bodens der Teilstücke mit verschiedenartiger Stickstoffdüngung wurde nicht in einheitlicher Weise beeinflußt. Bei der Düngung mit Leuna-Montan ist die Verschiebung der Bodenreaktion in das saure Gebiet in den meisten Fällen deutlicher als bei den übrigen Stickstoffdüngemitteln.

IV. Besprechung der Versuchsergebnisse.

Die Steigerungen des Kornertrages durch die Kopfdüngung mit 60 kg N sind sehr beachtlich und betrugen im Durchschnitt der drei Versuchsjahre und sämtlicher geprüfter N-Düngemittel 33,44%, wobei besonders die geringen Schwankungen in den einzelnen Versuchsjahren (34,49, 33,96 und 31,91%) hervorgehoben werden müssen. Ein etwas anderes Ergebnis hingegen zeigt die Beeinflussung des Ölertrages. Wie aus Tafel 15 zu entnehmen ist, läuft die Steigerung der Fettmenge je ha den Steigerungen des Samenertrages nicht gleich, sondern ist mit 15,54% im ersten Versuchsjahre 1936 um mehr als die Hälfte niedriger als 1937 mit 32,47% und 1938 mit 34,71%. Sucht man die Ursache für diese Erscheinung in einer verschiedenartigen Beeinflussung des prozentischen Fettgehaltes, so ergibt sich, daß dieser im Vergleich zu ohne Kopfdüngung im Jahre 1936 durch die Stickstoffdungung im Durchschnitt um 6,11%, im Jahre 1937 nurmehr um 0,46% erniedrigt, im Jahre 1938 hingegen um 0,71% erhöht wurde. Die Auswirkung der Stickstoffdüngung auf den Fettgehalt war also eine verschiedene und kann mit einem etwaigen ungünstigen Nährstoffverhältnis allein nicht erklärt werden, da die Beidüngung, soweit es die Pettenbrunner Versuche anlangt, in den Jahren 1936 und 1937 zwar nicht günstig, besonders nicht im Hinblick auf die Beigabe von Phosphorsäure, jedoch gleich hoch war. Wir bringen diese verschiedene Auswirkung in Zusammenhang mit dem Fettbildungsprozeß und den Witterungsverhältnissen. Die Fettbildung in den Samen der Ölfrucht vollzieht sich als ausgesprochener Prozeß

Tafel 15.

Zusammenhänge zwischen Witterung und Leistung der Stickstoffkopfdüngung.

Art der Bestimmung	Versuchsjahr		
	1935/36	1936/37	1937/38
Jahressumme der Niederschläge mm	903,7	727,5	742,1
Winterhalbjahr (Oktober mit März) mm . . .	324,1	253,4	255,5
Sommerhalbjahr (April mit September mm) . . .	579,6	474,1	486,6
Regenmenge Monat Mai	70,6	38,9	88,4
Regenmenge Monat Juni	179,6	100,4	80,5
Sonnenscheindauer Monat Mai h	$179^{55'}$	$266^{20'}$	$209^{10'}$
Sonnenscheindauer Monat Juni h	$196^{00'}$	$260^{20'}$	$235^{20'}$
Mittlere Temperatur Monat Mai C° . .	+ 13,20 (19,70; 6,71)[1]	+ 14,63 (22,68, 6,58)	+ 10,71 (18,05, 3,38)
Mittlere Temperatur Monat Juni C° . . .	+ 15,81 (22,30; 9,32)	+ 18,12 (25,48; 10,75)	16,86 (23,99; 9,73)
Steigerung des Kornertrages in %	34,49	33,96	31,91 (35,64)[2]
Steigerung des Strohertrages in %	13,69	24,47	28,11 (27,20)
Steigerung der Fettmenge in %	15,54	32,47	34,71 (38,70)
Steigerung der Rohproteinmenge im Samen in %	37,59	48,59	39,74 (46,98)
N-Ausnützung in % . .	—	52,30	53,12 (40,81)
Leistung von 1 kg N			
Körner kg	9,88	9,58	9,73 (12,22)
Stroh kg	18,88	28,28	21,56 (19,16)
Fett kg	1,93	3,80	3,75 (4,64)
Rohprotein (Samen) kg	2,00	2,18	2,41 (3,15)

[1]) Temperaturmaxima bzw. -minima des betreffenden Monats.
[2]) Werte des Versuches zu Pettenbrunn allein.

der Reservenährstoffbildung während des Reifevorganges und erreicht nach den Untersuchungen von W. Kleeberger (1) ihre Höchstwerte in der Zeit zwischen Gelb- und Vollreife (Abb. 1).

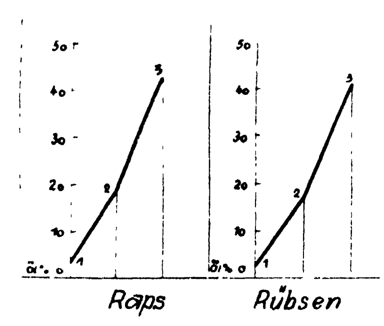


Abb. 1.
Zunahme des Ölgehaltes während des Reifevorganges (nach W. Kleeberger).
1. Grünreife, 2. Gelbreife, 3. Vollreife.

Zum gleichmäßigen Ablauf dieses Prozesses bedarf die Pflanze aber neben einer harmonischen Ernährung auch einer gewissen Wärmesumme. Um den Einfluß der Witterung prüfen zu können, sind in Tafel 15 neben den Leistungen der Stickstoffkopfdüngung im Vergleich zu ohne Kopfdüngung auch die Jahresmengen der Niederschläge sowie die Niederschlagsmengen in den entscheidenden Monaten Mai und Juni (Blüte- und Samenbildung) ferner die Sonnenscheindauer in h und die mittleren Temperaturen aufgezeichnet. Im Jahre 1936 mit seinem starken Abfall der Fettleistung bei sonst gleicher Ertragsleistung ist im Vergleich zu den beiden anderen Versuchsjahren die Witterung sowohl hinsichtlich Niederschläge, Sonnenscheindauer und Temperatur wesentlich ungünstiger gewesen und man geht wohl nicht fehl in der Annahme, daß in diesem Jahr diese Ungunst der Witterung bei den mit zusätzlichem Stickstoff versorgten Pflanzen eine Reifeverzögerung und damit eine Beeinträchtigung des normalen Ablaufes der Fettbildung verursacht hat. Schließlich wäre noch die Frage nach den gegenseitigen Beziehungen zwischen dem Fett- und N-Gehalt der Samen zu stellen.

K. Schmalfuß (2) sowie F. Giesecke, K. Schmalfuß und E. Gerdum (3) stellten bei Gefäß-, Zylinder- und Feldversuchen zu Lein fest, daß der Ölgehalt der Samen mit steigenden N-Gaben im allgemeinen ab-, der N-Gehalt dagegen zunimmt und erklären diese Erscheinung damit, daß die Pflanze infolge von N-Mangel im Samen weniger Eiweißstoffe abzulagern vermag, dafür in gewissen Grenzen verhältnismäßig mehr Fett speichert. Dieses gegenläufige Verhalten von Fett- und N-Gehalt der Samen wurde neuerdings von K. Schmalfuß (4) auch bei Versuchen zu Winterraps bestätigt gefunden.

Um diese Frage bei den eigenen Versuchen prüfen zu können, wurden in Tafel 16 die prozentischen Fett- und N-Gehalte der Samen einander gegenübergestellt, wobei die Werte mit N-Kopfdüngung die Durchschnitte der jeweils geprüften N-Formen darstellen.

Bei der Auswertung muß darauf Rücksicht genommen werden, daß bei unseren Versuchen die Düngungsart ohne Stickstoff fehlt und diese somit N-Steigerungsversuche mit zeitlich verschiedenen N-Gaben darstellen. Die gegenläufige Beeinflussung von Fett- und N-Gehalt ist am deutlichsten im Jahre 1937 erkennbar. Bei den Versuchen im Jahre 1938 ist dies nicht der Fall, jedoch ist beachtenswert, daß bei beiden Versuchen die Unterschiede im Fett- und N-Gehalt an sich gering sind, sämtliche Werte für den Fettgehalt jedoch die niedrigsten aller Versuche darstellen, während hinsichtlich des N-Gehaltes das Umgekehrte festgestellt werden kann. Die Erklärung hierfür suchen wir wiederum in den im Vergleich mit 1937 ungünstigeren Witterungsverhältnissen des Jahres 1938, in welchem durch den kühlen Monat Mai (Tafel 15) eine Wachstumsstockung verursacht wurde, die die Reife des Rapses im Vergleich zu 1937 um dreizehn Tage hinausschob. Hinsichtlich der Form der N-Düngemittel läßt die Anzahl der Versuche und deren Ergebnis

Tabelle 14.

Ergebnisse der Reaktionsbestimmungen bei dem N-Kopfdüngungsversuch zu Winterraps auf Decklehm in Dürnast 1938.

Düngungsart		pH in der KCl-Aufschlämmung	
		März 1938	Juli 1938
Ohne Kopfdüngung	1a	6,71	6,42
	b	6,59	6,45
	c	6,41	6,30
	d	6,43	6,17
	e	6,34	6,15
60 kg N je ha als Leuna Montan	2a	6,24	6,07
	b	6,33	6,02
	c	6,32	5,80
	d	6,30	6,09
	e	6,31	5,95
60 kg N je ha als Kalkammonsalpeter	3a	6,22	6,01
	b	6,19	6,22
	c	6,45	6,25
	d	6,30	6,24
	e	6,40	6,41
60 kg N je ha als Chilesalpeter	4a	6,25	6,19
	b	6,13	5,77
	c	6,07	6,27
	d	6,23	6,35
	e	6,19	6,24
60 kg N je ha als Stickstoffkalkphosphat	5a	6,02	6,12
	b	5,89	6,12
	c	6,37	6,12
	d	6,37	6,20
	e	6,19	5,94
60 kg N je ha als Kalksalpeter	6a	6,13	6,05
	b	6,04	6,02
	c	6,12	6,28
	d	6,22	6,13
	e	6,09	6,21

ein eindeutiges Urteil nicht zu. Zwischen den reinen Salpetern und sogenannten kombinierten N-Düngemitteln, die sowohl Ammoniak- wie Nitrat-N führen, bestehen, im ganzen gesehen, verhältnismäßig geringe Unterschiede, die von der Aufstellung einer Rangfolge Abstand nehmen lassen. Auch die N-Ausnützung läßt eine eindeutige Unterscheidung zwischen den verschiedenen N-Düngemitteln nicht zu. Bemerkenswert ist die hohe Ausnützung des Stickstoffs im Kalksalpeter auf dem sauren Lehmboden in Pettenbrunn und die in zwei Versuchen festgestellte höhere N-Ausnützung im Stickstoffkalkphosphat. Der Versuch zu Rübsen zeigt eine bei der geringen N-Gabe im Herbst verständliche sehr günstige Wirkung der Frühjahrsdüngung mit

Tafel 16.

Beziehungen zwischen Fett- und N-Gehalt der Samen.

Versuchsfrucht, -jahr und Düngungsart			Fettgehalt der Samen in %	N-Gehalt der Samen in %
1936,	Winterraps	Ohne Kopfdüngung	43,27	2,99
		Mit N-Kopfdüngung	37,16	3,05
1937,	Winterraps	Ohne Kopfdüngung	41,52	2,54
		Mit N-Kopfdungung	41,06	2,82
	Winterrübsen	Ohne Kopfdüngung	34,85	2,93
		Mit N-Kopfdüngung	37,92	2,88
1938,	Winterraps (Pettenbrunn)	Ohne Kopfdüngung	34,98	3,13
		Mit N-Koptdüngung	35,77	3,39
	Winterraps (Durnast)	Ohne Kopfdüngung	36,01	3,26
		Mit N-Kopfdungung	36,64	3,34

Stickstoff sowohl auf den Ertrag als auch auf den prozentischen Fettgehalt. Die N-Ausnützung ist in Anbetracht der wesentlich kürzeren Wachstumszeit niedriger als bei den Versuchen zu Winterraps. Bei den Versuchen zu Raps ist die durchschnittliche N-Ausnützung in den Jahren 1937 und 1938 mit 52,30 bzw. 53,12% als nicht voll befriedigend anzusehen und es taucht wiederum die schon öfters besprochene Frage nach dem zweckmäßigsten Zeitpunkt der Stickstoffgabe auf. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen ist eine vollständige N-Gabe im Herbst schon durch die Möglichkeit der großen Auswaschungsverluste nicht vertretbar. Es ist somit eine Teilung der N-Gabe, die z. B. nach den Versuchen von I. Weigert und H. Weizel (5) bis zu 1/3 im Herbst, zu 2/3 im Frühjahr gegeben wird, unbedingt erforderlich. Keese (6), der bei 70% von insgesamt vierunddreißig Versuchen zu Winterraps die höchsten Erträge bei ganzer Frühjahrsstickstoffdüngung erhielt, hält es ebenfalls für notwendig, das Schwergewicht der Stickstoffdüngung auf das Frühjahr zu verlegen. Andererseits erhebt sich bei den vorliegenden Versuchen die Frage, inwiefern durch ein besseres Nährstoffverhältnis die Auswirkung und Ausnützung der N-Gabe im Frühjahr noch günstiger hätte gestaltet werden können. Für die Düngung der Winterölfrüchte in der Praxis bestätigen die vorliegenden Versuche wiederum die häufig gemachte Erfahrung, daß sowohl die Versorgung mit Phosphorsäure und Kali als auch besonders mit Stickstoff für die Erzielung hoher Erträge von der Flächeneinheit noch vielfach ungenügend ist. Ebenso muß, wie aus den Reaktionszahlen der Versuchsböden hervorgeht, die Frage nach einem geregelten Reaktions- und Kalkzustand des Bodens für den Anbau von Ölfrüchten mehr Beachtung finden als seither, zumal ja dem Kalk für den Raps nicht nur große Bedeutung hinsichtlich der günstigen Wirkung auf den Boden als Standort, sondern auch als Nährstoff und als physiologisch wirksames Kation zukommt [Schmalfuß (4)].

Um der Praxis mehr Anhaltspunkte für die Düngung der Winterölfrüchte als bisher geben zu können, erachten wir für folgende Fragen eine Prüfung in Form von Gemeinschaftsversuchen unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen für unbedingt notwendig:

1. Auswirkung des Reaktions- und Kalkzustandes des Bodens.
2. Einfluß des Nährstoffverhältnisses ($N : P_2O_5 : K_2O$) und der Höhe der Gesamtdüngung.
3. Höhe und Zeitpunkt der Stickstoffgabe.
4. Einfluß der Ernährung auf N- und Fettgehalt der Samen sowie die Qualitat des Fettes.

V. Zusammenfassung.

1. Dreijährige Kopfdüngungsversuche mit 60 kg N je ha in Form von Leuna-Montan, Kalkammonsalpeter, Chilesalpeter, Kalksalpeter und Stickstoffkalkphosphat zu Winterölfrüchten ergaben eine durchschnittliche Steigerung des Kornertrages um 33,44%. Die günstige Wirkung des Stickstoffes war in den drei Versuchsjahren nur sehr geringen Schwankungen (31,91—34,49% Mehrerträge) unterworfen. Der Strohertrag wurde in geringerem Ausmaße erhöht als der Kornertrag. Durch 1 kg N wurde ein Mehrertrag an Körnern von 9,72—9,88 kg, an Stroh von 18,88 bis 28,28 kg erzielt. Die Mehrleistung an Rohprotein betrug je kg N 2,00—2,41 kg.

2. Die Auswirkung der Stickstoffdüngung auf den prozentischen Fettgehalt war in sehr starkem Ausmaße von der Witterung abhängig. Durch die nasse kühle Witterung im Jahre 1936 wurde der prozentische Fettgehalt bei N-Düngung im Durchschnitt um 6,11% vermindert. In den wesentlich wärmeren Jahren 1937 und 1938 war der prozentische Fettgehalt um 0,46% niedriger bzw. 0,71% höher als bei ohne Kopfdüngung. Die absolute Fettmenge je ha wurde in den drei Versuchsjahren um 15,54, 32,47 und 34,71% erhöht. Durch 1 kg N wurde ein Mehrertrag von 1,93—3,50 kg Fett erzielt.

3. Der Ausfall der Versuche läßt ein eindeutiges Urteil über die Wirksamkeit der verschiedenen zur Anwendung gelangten N-Düngemittel nicht zu. Zwischen den Salpeterarten und den sogenannten kombinierten N-Düngern bestanden geringe Unterschiede.

4. Die N-Ausnützung war bei den Versuchen zu Raps im Durchschnitt mit 52,7% höher als beim Rübsen mit 30,2%. Die beste N-Ausnützung wurde durch Stickstoffkalkphosphat erzielt*).

VI. Schrifttum.

1. Kleeberger, W.: Die Entwicklung des Eiweiß- und Olgehaltes in den Samen von Öl- und Gespinstpflanzen. Chem. Umschau. Stuttgart, **28**, 1921, 1.
2. Schmalfuß, K.: Experimentelle Studien zur Physiologie und Ernährung des Leins im Hinblick auf die Ausbildung von Faser und Öl. I. Teil: Gefäßversuche. Bodenkunde u. Pflanzenernahr., Berlin, **1**, 1936, 1—39.
Schmalfuß, K., u. H. Micheel: Über die Abhangigkeit der Beschaffenheit des Leinöls von der Mineralsalzernährung der Pflanzen. Angew. Botanik, Berlin, **17**, 1935, 199—206.

*) Die Durchführung der Versuche wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom Forschungsdienst gefördert.

Schmalfuß, K.: Weitere Studien zur Fettbildung im Leinsamen unter dem Einfluß von Umwelt und Ernahrung der Pflanze. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 5, 1937, 37–46.
3. Giesecke, F., K. Schmalfuß, u. E. Gerdum: Experimentelle Studien zur Physiologie und Ernährung des Leins im Hinblick auf die Ausbildung von Faser und Öl. II. Teil: Feldversuch. Ebenda, 4, 1937, 340—357.
4. Schmalfuß, K.: Über die Wirkung von Stickstoff- und Kalkdüngung zu Winterraps. Ebenda, 6, 1938, 254—258.
5. Weigert, J., u. H. Weizel. Erfahrungen mit Rapsanbau auf der oberbayerischen Schotterebene. Prakt. Bl. f. Pflanzenbau u. Pflanzenschutz, Freising, 13, 1936, 121—133.
6. Keese: Stickstoffdüngung zu Winterraps und Winterrübsen. Mitt. Landw., Berlin 51, 1936, 917--919. [243]

Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren in Sandkultur[1]).

Von Helmut Schander.

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung Müncheberg (Mark). Erwin-Baur-Institut.

Eingegangen: 6. Oktober 1938.

1. Einleitung.

Früher beschriebene Versuche haben gezeigt, daß das Optimum für die Jungpflanze von Lupinus luteus in Wasserkultur bei pH = 4,8 – 5,0 liegt (30). Da, wie in der Literaturbetrachtung der gleichen Arbeit dargestellt wurde, dieses Ergebnis mit den mittels anderen Methoden gewonnenen Befunden verschiedener Autoren nicht in Einklang zu bringen ist, wurden die Versuche in Sandkulturen wiederholt. Zweck nachstehend beschriebener Untersuchungen ist es daher, zu prüfen, ob die für die Wasserkultur gefundenen Gesetzmäßigkeiten der Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus auch für Sandkulturen gelten.

2. Material und Methoden.

Als Material dienten, wie bei den früheren Versuchen, die Müncheberger alkaloidfreien Stämme von Lupinus luteus, vornehmlich die Stämme 8 und 80 und der Stamm Weiko' der S.E.G. Die Methoden der Anzucht des Materials und der Bewertung der Chlorose wurden gleichfalls nicht geändert (29, 30). Die Keimlinge wurden in die Sandkulturen gepflanzt, wenn die Wurzeln etwa 4–5 cm groß waren. Die Keimblätter waren zu dieser Zeit noch fest geschlossen. Es wurden zu den Versuchen nur gleichmäßig entwickelte Pflanzen benutzt. Die Versuche wurden teils in Glassand aus Hohenbocka, teils in Quarzsand der Freienwalder Ton- und Steinzeugwerke angesetzt. Der Sand wurde vor dem Pflanzen einmal mit Nähr- bzw. Salzlösung beschickt, sodann nach Bedarf mit destilliertem Wasser gegossen. Die Versuche wurden zunächst in Tontöpfen, später in speziellen Sachs'schen Wurzelkasten nach Solberg (36) ausgeführt. Entsprechend den Wasserkulturversuchen wurden Einsalz-, Mehrsalz und volle Nährlösungen angesetzt. Die Messung der H-Ionenkonzentration erfolgte mit der Chinhydronelektrode und den Indikatoren nach Tödt, bei den Wurzelkästen mit den Wulfschen Kolorimeterfolien.

[1]) Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

3. Die Versuche.

A. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Chlorose von der Salzkonzentration und dem pH-Wert in Einsalzkulturen bei Sandkultur.

Zunächst wurden die a. a. O. beschriebenen Einsalzkulturen wiederholt. Anstelle des Mediums Wasser trat nährstoffreier Sand. Zur pH-Messung wurden von der Oberfläche und aus tieferen Lagen kleine Proben aus den Töpfen genommen und miteinander gemischt. Der pH-Wert wurde zu Beginn des Versuches und zur Zeit der Bestimmung des Chlorosewertes gemessen. Die Bewertung der Chlorose erfolgte wie bei den Wasserkulturen im Stadium der Entwicklung des sechsten bis achten Blattes. Es wurde die Wirkung derselben Salze untersucht wie bei den Wasserkulturen, nämlich die Oxyde, Hydroxyde, Karbonate, Bikarbonate, primären, sekundären und tertiären Phosphate, Nitrate, Sulfate und Chloride von Kalzium, Magnesium, Kalium, Natrium und z. T. Ammonium. Die Konzentrationsstufen reichten jeweils von der Nullkontrolle bis zur letalen Dosis.

Die Ergebnisse der Versuchsreihen wichen von denen der entsprechenden Wasserkulturreihen meist weitgehend ab. So trat z. B. bei Kalziumsulfat, selbst bei 50°/₀ $CaSO_4$ keine Chlorose auf. Der pH-Wert von 6,5 hätte, gemäß den aus der Wasserkultur gewonnenen Erfahrungen unbedingt zur Chlorose führen müssen. Die Ergebnisse der einzelnen Versuchsreihen standen ebenfalls miteinander in Widerspruch. Bei pH 6,5 wurden die Pflanzen bei sekundärem und tertiärem Kaliumphosphat chlorotisch, bei Kalziumsulfat und Natronlauge nicht. Bei pH 7,2 trat bei Hohenbockaer Sand, der ohne Zusatz bereits den pH-Wert von 7,1 hatte, keine Chlorose auf, während bei dem gleichen pH-Wert Chlorose zu verzeichnen war, wenn Sand aus Freienwalde benutzt wurde, der ohne Zusatz den pH-Wert von 5,5 hatte. In beiden angeführten Fällen war die Reaktion durch Kalziumkarbonat eingestellt worden. In allen Reihen, in denen Chlorose auftrat, war sie um so stärker, je höher die Salzkonzentration war, gleichgültig, ob mit der Steigerung der Konzentration eine Erhöhung des pH-Wertes verbunden war oder nicht. Eine Abhängigkeit der Chlorose von der Reaktion war nur zu beobachten, wenn der pH-Wert bei einer Erhöhung der Salzkonzentration anstieg. Bei verschiedenen Salzen entsprachen gleiche Chlorosewerte sehr selten gleichen pH- oder gleichen Konzentrationswerten. Besteht bei diesen Versuchen keine klare Beziehung zwischen Reaktion und Chlorose, so ist sie erst recht nicht zu beobachten zwischen der Art der Salze und der Chlorose. Um eine spezielle Wirkung des Kalziums kann es sich nicht handeln, da zwar Kalziumhydroxyd, Kalziumkarbonat, sekundäres und tertiäres Kalziumphosphat und Kalziumnitrat Chlorose hervorrufen, Kalziumsulfat, primäres Phosphat und Kalziumchlorid dagegen nicht. Eine spezifische Kalziumwirkung ist auch deshalb nicht anzunehmen, weil durch Magnesium-, Kalium-, Natrium- und Ammoniumsalze die gleichen Erscheinungen hervorgerufen werden können.

Aus den Ergebnissen der Einsalzkulturen in Sand ist also zu

folgern, daß keine direkten Beziehungen zwischen dem Auftreten und der Stärke der Chlorose einerseits und der Reaktion und der Salzkonzentration andererseits bestehen. Zwischen den unter sonst gleichen Bedingungen gehaltenen Versuchen in Wasser- und Sandkulturen bestehen also Widersprüche, die sich nur durch irgendwelche besonderen Verhältnisse des Sandes erklären lassen, wenn man nicht annehmen will, daß sich die Pflanze selbst grundsätzlich geändert hat. Zu dieser Annahme liegt indessen zunächst keinerlei Veranlassung vor.

B. Untersuchungen über Veränderungen der Wasserstoffionenkonzentration in unmittelbarer Nähe der Wurzeln.

Die einfachste Erklärung für die mangelnde Übereinstimmung der Ergebnisse beider Versuchsgruppen war die Annahme, daß in der Sandkultur der pH-Wert in unmittelbarer Nähe der Wurzeln von dem der Durchschnittsproben abweicht. Um dies zu prüfen, wurden die Pflanzen ausgetopft und die Wurzeln durch Schütteln soweit als möglich vom Sande befreit. Der letzte, durch Schütteln nicht mehr zu entfernende Sand, der die Wurzeln wie dünne Höschen umgab, wurde mit möglichst wenig destilliertem Wasser in kleine Gläschen gespritzt. Die Wasserstoffionenkonzentration dieser der wurzelnahen Zone entstammenden Probe wurde im Vergleich mit den oben beschriebenen Durchschnittsproben mittels der Chinhydronelektrode gemessen. Die Messungen wurden an sämtlichen oben genannten Einsalzkulturen durchgeführt, so daß im Ganzen 4000 pH-Messungen ausgeführt wurden. Der pH-Wert der wurzelnahen Zone stimmte nur selten mit dem des Durchschnitts überein. Die Abweichung betrug bis zu drei pH-Einheiten.

Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Verhältnisse beim kohlensauren Kalk in Glassand aus Hohenbocka. Die Kurve I enthält die pH-Werte der Durchschnittsproben, die Kurve II die der Proben aus der wurzelnahen Zone. Die Abweichung beider Werte von einander ist um so geringer, je höher der Kalkgehalt des Sandes ist. Die Kurve III zeigt die zugehörigen Chlorosewerte. Die Abszisse zeigt den Kalkgehalt des Sandes in Hundertteilen an.

Zeichnet man nun die Kurven so um, daß die Abszisse die pH-Werte in gleichen Abständen enthält, so erhält man Abbildung 2. Kurve I zeigt die Chlorosewerte in Beziehung zu den pH-Werten der Durchschnittsproben, Kurve II in Beziehung zu denen der wurzelnahen Zone. Zum Vergleich ist Kurve III eingetragen, die die Abhängigkeit der Chlorose vom pH-Wert in Wasserkultur zeigt. Die beiden Kurvenbilder sind innerhalb der Fehlergrenzen gleich. Daraus folgt aber, daß die Chlorose in der Sandkultur genau so abhängig von der Reaktion ist wie in der Wasserkultur, daß also die für die Wasserkulturversuche gefundenen Gesetzmäßigkeiten auch für die Sandkulturen gelten. Die Ergebnisse der Versuche der übrigen 35 Reihen besagen dasselbe. Es

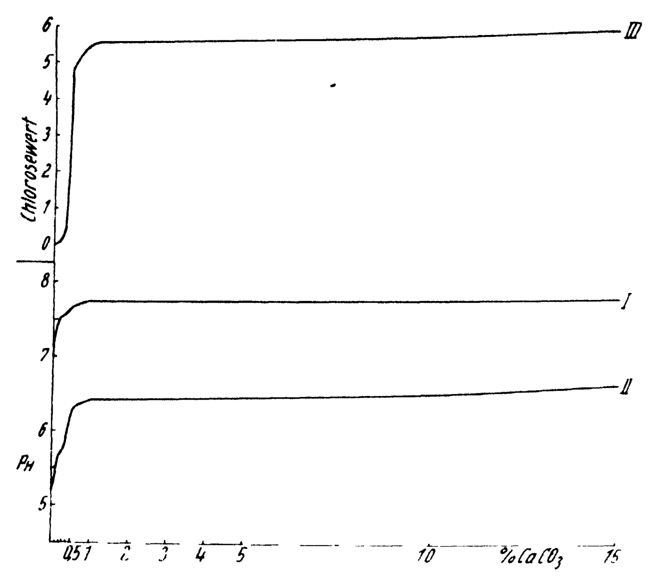


Abb. 1. Die Abhängigkeit der Jugendchlorose vom Kalkgehalt und von der Reaktion in Sandkultur. I = Bodenreaktion. II = Reaktion der wurzelnahen Zone. III = Chlorosewert.

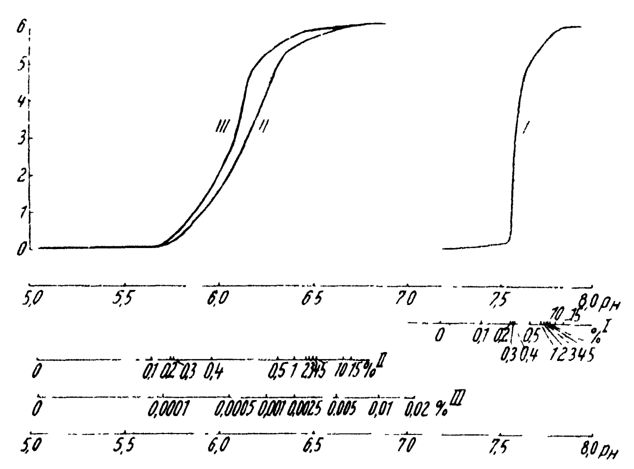


Abb. 2. Die Abhängigkeit der Chlorose junger Lupinenpflanzen vom pH-Wert und Kalkgehalt in Sandkultur. Abszisse: pH; Ordinate: Chlorosewert. I. Die Chlorose in Abhängigkeit vom pH-Wert des Sandes im Durchschnitt. Hilfsabszisse I: Hundertteile $CaCO_3$ bezogen auf die pH-Werte des Sandes (Durchschnittsproben). — II. Die Chlorose in Abhängigkeit vom pH-Wert des Sandes in nächster Nähe der Wurzeln. Hilfsabszisse II: Hundertteile $CaCO_3$ bezogen auf die pH-Werte der wurzelnahen Zone. — III. Vergleich. Die Chlorose in Abhängigkeit vom pH-Wert in Wasserkultur. Hilfsabszisse III: Hunderteile $CaCO_3$ in destilliertem Wasser.

soll daher von einer Einzeldarstellung Abstand genommen werden. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis aller Versuche summarisch etwas schematisiert. Sie zeigt, daß, wenn man den pH-Wert des Bodens zugrunde legt, im Bereich von pH-5,0 bis 8,0 keine Chlorose aufzutreten braucht, innerhalb des Bereiches von pH-5,6 bis 8,5 aber auftreten kann. Legt man den pH-Wert der wurzelnahen Zone zu Grunde, so ist der pH-Bereich, in dem keine Chlorose auftritt, scharf begrenzt. Der Grenzwert liegt etwa bei pH-5,6. Der Grenzwert für die Wasserkultur beträgt dagegen 5,0. Der verhältnismäßig geringfügige Unterschied ist auf Ungenauigkeiten der Methodik zurückzuführen, da in den Proben sehr leicht Mischungen zwischen der echten wurzelnahen Zone und dem anliegenden, nicht veränderten Bereich vorliegen können.

Die bisher dargestellten Versuche waren Ende 1935 im Wesentlichen beendet, als eine Arbeit von Solberg (36) erschien, die die eigenen Untersuchungen bestätigte.

Solberg untersuchte die Wurzelausscheidungen von Senf, Mais, Bohnen und gelben Lupinen. Er ließ diese Pflanzen in speziellen Sachsschen Wurzelkasten wachsen, deren Glasscheiben abgeklappt werden konnten, so daß die Wurzeln freigelegt wurden. Er legte auf die unberührten Wurzeln blaues Lakmuspapier und beobachtete, daß sich die Wurzeln rot auf blauem Grunde abhoben. Er entnahm ferner aus unmittelbarer Nähe der Wurzeln und aus den Zwischengebieten Sandproben und stellte deren Reaktion mittels der Chinhydronelektrode fest. Er fand für die Lupine, daß der pH-Wert in der Wurzelnähe bis zu 1,33 Einheiten von dem des Zwischengebietes abweichen kann, und wies auf die Übereinstimmung mit ähnlichen Versuchen von Sekera (35) hin. Für die wurzelnahe Zone fand Solberg im allgemeinen

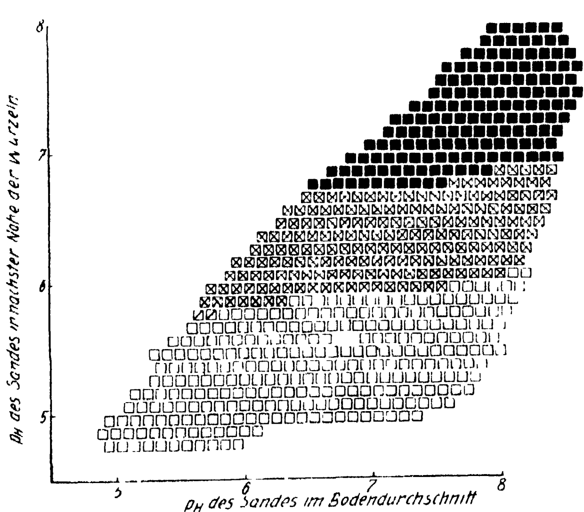
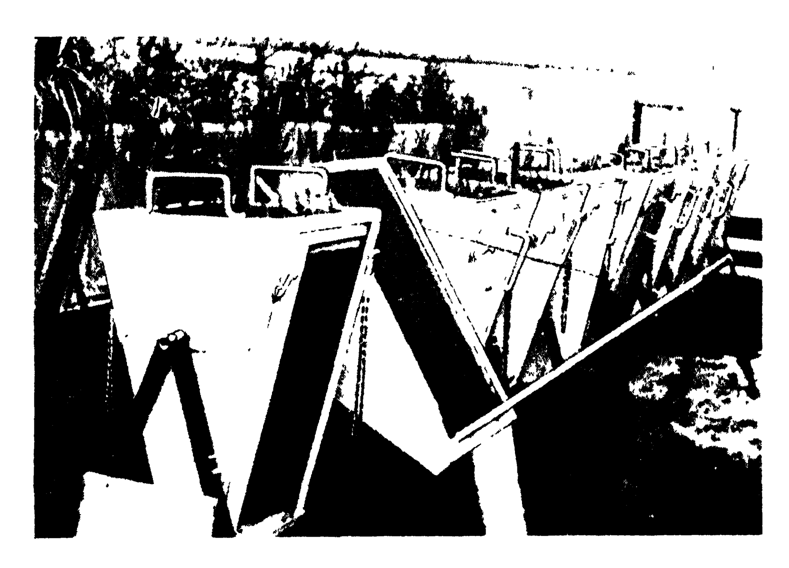


Abb. 3. Die Abhängigkeit der Chlorose junger Pflanzen von Lupinus luteus von der Reaktion der wurzelnahen Zone und des Sandes (schematisiert).
□□ Pflanzen nicht chlorotisch, ⊡⊡ Pflanzen schwach chlorotisch,
■■ Pflanzen stark chlorotisch.
Abszisse: pH des Sandes im Durchschnitt. Ordinate: pH des Sandes in nächster Nähe der Wurzeln.

den pH-Wert von 4,71 bis 4,90 Da Solberg mit ganz anderer Fragestellung arbeitete, übersah er die Übereinstimmung seiner Werte mit jenen, die Mevius (24) als Optimum für Lupinus luteus in Wasserkulturen angegeben hatte.

Zur weiteren Nachprüfung der eigenen Ergebnisse wurde die Methodik von Solberg übernommen. Die benutzten Wurzel-



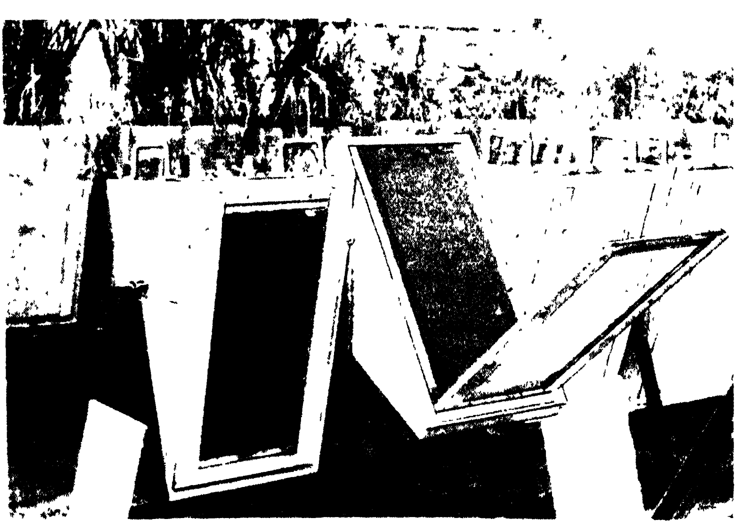


Abb. 4a und 4b. Die Wurzelkästen. a) Gesamtansicht eines Versuches. b) Teilansicht. Von links nach rechts· 1. Wurzelkasten mit anliegender Glasscheibe und abgezogenem Schutzblech. 2. Wurzelkasten in Schräglage mit abgeklappter Glasscheibe. 3. Wurzelkästen in Ruhestellung.

kästen zeigt Abbildung 4[2]). Die Messung der Wasserstoffionenkonzentration wurde abgeändert. An Stelle von Lakmuspapier wurden die Indikator-Folien nach Wulff[3]) auf die Wurzeln aufgelegt. Die Folien wurden schwach mit destilliertem Wasser angefeuchtet, auf Filtrierpapier gelegt und mittels Stecknadeln so auf den Sand und die Wurzeln geheftet, daß das Filtrierpapier die Bodenlösung durch die Folien saugen konnte. Die Folien wurden solange auf den Boden belassen, bis sie durchgefärbt waren und der Farbton sich nicht mehr änderte. Diese Zeit ist von der Natur und besonders vom Wassergehalt des Bodens stark abhängig und schwankt zwischen 10 und 120 Minuten. Läßt man die Folien zu lange liegen, so werden sie entfärbt. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa 0,1—0,2 pH-Einheiten. Die Methode birgt den Vorteil, drei Bestimmungen auf einmal ausführen zu können, 1. die des pH-Wertes der wurzelnahen Zone, 2. die des pH-Wertes des Zwischengebietes, 3. die der Ausdehnung der wurzelnahen Zone.

Mittels dieser Methode wurden die oben besprochenen Ergebnisse an Einsalzkulturen mit Kalziumkarbonat und mit Natrium-

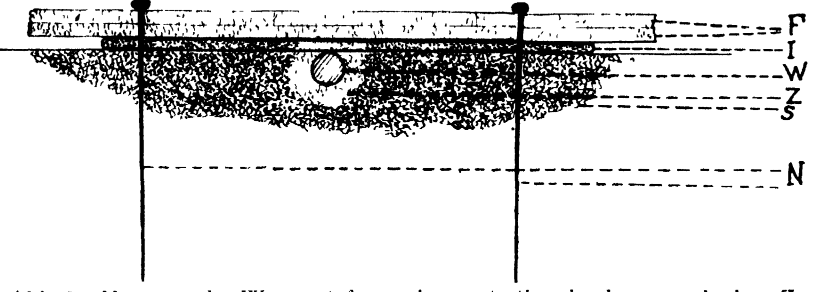


Abb. 5. Messung der Wasserstoffionenkonzentration in der wurzelnahen Zone mittels der Wulffschen Folie. Schematisierter Querschnitt. W = Wurzel. Z = Wurzelnahe Zone. S = Kultursand (Zwischenbereich). I = Indikatorfolie. F = Filtrierpapier (zwei Lagen). N = Nadeln.

karbonat in Freienwalder Sand, ferner an Vollsalzversuchen mit der früher angegebenen Nährlösung (30) in Freienwalder Sand und schließlich an Konzentrationsreihen mit Kalziumkarbonat in Ackerboden von einem Felde, auf dem Lupinen gut wuchsen, geprüft. Es zeigte sich wiederum einwandfrei, daß die Chlorose von der in der wurzelnahen Zone herrschenden Wasserstoffionenkonzentration abhängt. Es treten keine Chloroseerscheinungen auf, sobald der pH-Wert in der wurzelnahen Zone 4,8—5,0 beträgt. Die Messungen mittels der Folien stimmen mit den Ergebnissen der Wasserkulturen besser überein, als jene zuerst beschriebenen, was auf eine Mangelhaftigkeit der ersten Methode

[2]) Die Wurzelkästen wurden von der Firma Sellin u. Co., Müncheberg (Mark) angefertigt und haben sich gut bewährt.
[3]) Firma Lautenschläger, G.m.b. H., München.

zurückzuführen ist. Die Ausdehnung der scharf ausgeprägten wurzelnahen Zone schwankt zwischen 0,5 und 2,0 mm.

C. Wiederholungen wichtiger Versuche älterer Autoren. Besprechung des Schrifttums.

Ist die Kalkempfindlichkeit der Lupine auch bereits schon den römischen Schriftstellern bekannt (12), und gibt es bereits seit Anfang des vorigen Jahrhunderts theoretische Erklärungen, die z. T auf exakten Beobachtungen beruhen (37), so beginnt die wissenschaftlich experimentelle Bearbeitung erst kurz vor der Jahrhundertwende. 1888 findet Frank (10), daß in Gefaßkulturen der Zusatz von Mergel das Wachstum der Lupine und ihre Stickstoffanreicherung mindert. 1896 düngt Heinrich (11) Gefäßkulturen mit steigenden Gaben von kohlensaurem Kalk und andere mit kohlensaurer Magnesia. Er beobachtet Schadigungen der Pflanzen, als deren Ursache er die alkalische Reaktion ansieht. 1910 stellten sich Pfeiffer und Blanck (25) die exakte Frage: beruht die Kalkempfindlichkeit auf einer „allgemeinen Kalkwirkung" oder einer „Karbonatwirkung", d. h. auf einer erhöhten, schadlichen Ca-Aufnahme oder auf einer Wirkung alkalischer Bodenreaktion. Sie düngten ihre Kulturen z. T. mit verschiedenen Ca-Salzen, z. T. mit verschiedenen alkalisch wirkenden Salzen und leiteten aus diesen Versuchen eine starke Alkaliempfindlichkeit der Pflanze ab. Um diese weiter zu prufen, setzten sie in nährstoffarmem Sand Reaktionsreihen mittels $KHSO_4$ und K_2CO_3 an. Am gesundesten und kräftigsten entwickelten sich die Pflanzen bei saurer Reaktion, in allen anderen Fallen trat ein Vergilben der Blatter ein, ansteigend mit zunehmender alkalischer Reaktion der Düngung Eine Bestatigung fand diese Beobachtung in Reaktionsreihen aus Zitronensaure und K_2CO_3. pH-Messungen wurden in dieser Zeit natürlich noch nicht vorgenommen.

1914 kritisiert Creydt (8) in einer Dissertationsarbeit die Untersuchungen von Pfeiffer und Blanck sehr scharf. Creydt meint, die Ergebnisse der Kaliumbisulfat- und Kaliumkarbonatreihe besagen nur, daß das Kalium bei saurer Reaktion besser als bei alkalischer Reaktion aufgenommen wurde Über die Ursachen der Kalkempfindlichkeit gaben die Versuche keine Antwort. Die ubrigen Versuchsreihen Pfeiffers beachtet Creydt nicht Er legte seinen eigenen Versuchen die Frage zu Grunde: Beruht die Kalkempfindlichkeit der Lupine auf einer allgemeinen Abneigung gegenuber alkalisch reagierenden Nährlosungen, oder nur auf einer solchen speziell gegenuber dem Kalk? Die Fragestellung bleibt also die gleiche wie bei Pfeiffer. Creydt stellt Versuchsreihen mit steigendem Kalkgehalt her. Beruhe die Kalkwirkung auf der alkalischen Reaktion, so müsse, meint er, die Wirkung durch saure Beidüngung ($KHSO_4$) vermindert, durch alkalische (K_2CO_3) erhoht werden. Auf Grund der Ernteerträge stellt er eine ertragssteigernde Wirkung der Dungung mit Kaliumkarbonat und eine ertragsmindernde mit Kaliumbisulfat fest und folgert, daß die Lupine alkalische Grunddungung bevorzuge und nicht alkali-empfindlich sei. Er beobachtet zwar, daß die chlorotischen Jugenderscheinungen durch Kaliumbisulfat gemindert, durch Kaliumkarbonat dagegen erhöht werden, legt aber diesen Beobachtungen, die er nur nebenbei erwähnt, keinerlei Gewicht bei. Diese Untersuchungen von Creydt sind fur die Entwicklung des Problems der Kalkempfindlichkeit von weittragender Bedeutung. Wurde bisher die durch die Untersuchungen von Heinrich (11), Schulze (34), Dietrich (9) und Pfeiffer und Blanck (25) gestützte Meinung vertreten, daß die Kalkempfindlichkeit als Alkaliempfindlichkeit zu deuten sei, gewann durch Creydt die andere Anschauung die Oberhand, wonach die Kalkempfindlichkeit lediglich auf einer Wirkung des Elementes Ca beruhe. Während Pfeiffer und Mitarbeiter in ihrer ersten Arbeit den Jugendzustand der Pflanze beobachteten, legen sie nunmehr auf den Ernteertrag das Hauptgewicht, widerrufen ihre fruhere Ansicht und schließen sich der Meinung von Creydt an (26), um wiederum etwas spater, unter dem Druck der Widersprüche in ihren Versuchsergebnissen ihre Meinung aufzugeben und sich vollkommen von dem Problem zurückzuziehen mit der Erklärung, daß es noch völlig ungelöst sei (27). 1920 beginnt Merkenschlager (15—22

u. 4—7) seine Theorie von der Kalkempfindlichkeit zu propagieren, die gänzlich eine reine Ca-Wirkung zugrunde legt und eine Alkaliwirkung völlig abstreitet. Sowohl in der experimentellen als auch in der literaturhistorischen Beweisführung läßt sich Merkenschlager schwere Fehler zuschulden kommen (31). Erst 1933 widerruft Merkenschlager (23) an einer leider wenig beachteten Stelle seine frühere Anschauung und führt die Kalkempfindlichkeit auf eine Alkaliempfindlichkeit zurück. Nichtsdestoweniger ist der Einfluß, den die Veröffentlichungen Merkenschlagers auf die weitere Entwicklung des Problems genommen haben, sehr groß und unheilvoll, da spätere Untersucher nicht einwandfrei begründete und unrichtige Meinungen als Tatsachen hinnahmen und z. T. darauf ihre Forschungen aufbauten (z. B. 3, 32, 33). Den kritischen Wendepunkt dieser verhängnisvollen Entwicklung stellen zweifelsohne die Untersuchungen von Creydt dar, die deshalb einer eingehenden kritischen und experimentellen Nachprüfung bedürfen.

Die Versuche nach Creydt.

Creydt setzte zwei Versuchsgruppen an, die erste in Heidesand, die andere in schwerem Lehmboden. Die Unterschiede der verschiedenen Düngungen traten in der ersten Gruppe wesentlich deutlicher in Erscheinung als in der zweiten. Wir wollen deshalb nur die erste betrachten. Er setzte sieben gleiche Konzentrationsreihen von $CaCO_3$ in je drei Konzentrationsstufen (0,0, 0,5 und 0,8% $CaCO_3$) an. Eine dieser Reihen ließ er ohne Zusatz. Zu je zwei der übrigen gab er $KHSO_4$, bzw. K_2CO_3, bzw. KCl in je zwei Konzentrationsstufen.

Wir benutzten leichten Müncheberger Sand, der als guter Lupinenboden bekannt war, und setzten zehn Kalkreihen mit je zehn Konzentrationsstufen (0,0–3,0%) an. Eine Reihe blieb ohne weiteren Zusatz, die übrigen erhielten in steigenden Gaben (0,001–0,4%) Kaliumbisulfat. Reihen mit alkalischen und neutralen K-Salzen wurden nicht angesetzt. Abbildung 6 zeigt den Aufbau des Versuches und gleichzeitig die Bodenreaktion. Bei der Entwicklung des sechsten Laubblattes wurde der Chlorosewert bestimmt. Abbildung 7 zeigt das Ergebnis. Die Chlorose ist um so stärker, je höher der Kalkgehalt und je geringer die Beidüngung des sauren Sulfates ist. Kaliumbisulfat schwächt also die Wirkung des kohlensauren Kalkes ab, genau wie Creydt es für den Fall einer Alkaliwirkung forderte. In dem Sechs-Blattstadium wurde der Versuch abgebrochen und die Reaktion der wurzelnahen Zone nach der zuerst beschriebenen Methode (nach Ausschütteln des Sandes) bestimmt. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis. Die Stärke der Chlorose richtet sich also, genau wie bei den im vorigen Abschnitt dieser Arbeit beschriebenen Versuchen, nach der Reaktion in der wurzelnahen Zone, nicht aber nach der allgemeinen Bodenreaktion und dem Kalkgehalt direkt. Daraus aber, daß Creydt und andere Autoren auf Grund der Ernteerträge zu entgegengesetzten Ergebnissen gelangen, ist zunächst zu folgern, daß sich die Jungpflanze, die ja allein die charakteristische „Kalkchlorose" zeigt, physiologisch anders verhält als die erwachsene Pflanze.

D. Tastversuch über die Natur der Wurzelsekrete.

Die besprochenen Ergebnisse zwingen zu der Annahme, daß die Wurzel der Lupinenjungpflanze befähigt ist, sich die Reaktion in der wurzelnahen Zone nach ihren Bedürfnissen einzustellen.

Es liegt nahe, hierfür die seit Sprengel 1839 (37) bekannten Wurzelausscheidungen verantwortlich zu machen.

Von den zahlreichen Autoren, die experimentell die Natur dieser Ausscheidungen untersuchten (z. B. 1, 13, 14, 37, 38), gibt anscheinend als einziger nur Czapek (2) wohlbegründete chemisch-analytische Befunde an Er

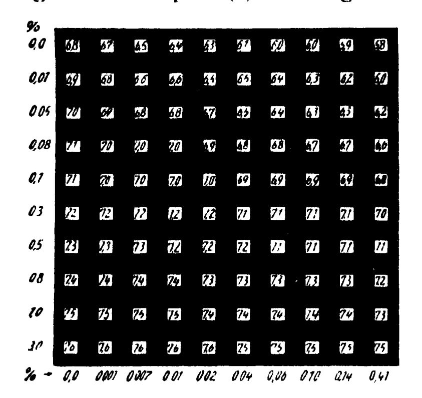


Abb. 6.
Die Bodenreaktion. pH-Messung 14 Tage nach dem Mischen der Erde.

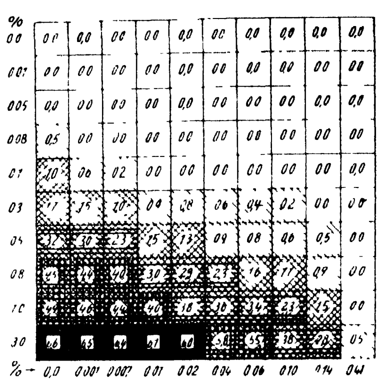


Abb 7.
Das Auftreten der Chlorose.

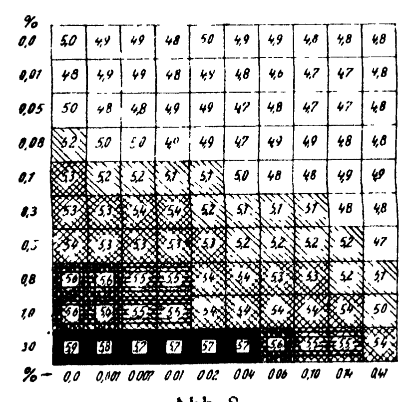


Abb. 8.
Die Reaktion in der wurzelnahen Zone

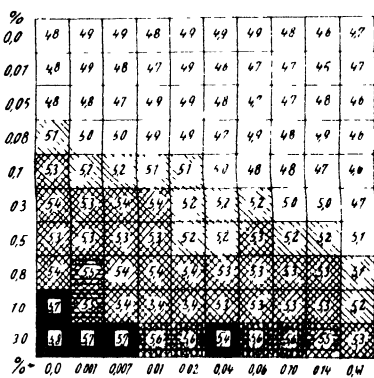


Abb. 9. Die Bodenreaktion nach Zugabe von 20 ccm einer n/5-Losung von KH_2PO_4 auf 10 g Boden.

Abb. 6–9. Der Versuch nach Creydt. Angaben links: Gehalt an $CaCO_3$. Angaben unten: Gehalt an $KHSO_4$. – Die pH-Werte sind auf 0,1 abgerundet.

Zeichenerklärung für

Abb 6,8,9
- $p_H < 5,0$
- $p_H = 5,1-5,2$
- $p_H = 5,3-5,4$
- $p_H = 5,5$
- $p_H = 5,6$
- $p_H > 5,7$

Abb 7
- Keine Chlorose (Chlorosewert = 0,0)
- Sehr schwache Chlorose (" = 0,1-0,9)
- Schwache Chlorose (" = 1,0-1,9)
- Mittelstarke Chlorose (" = 2,0-3,9)
- Starke Chlorose (" = 4,0-5,9)
- Sehr starke Chlorose (" = >6,0)

fand als Hauptbestandteil der Wurzelausscheidungen von Lup. angustifolius saure Kaliumphosphate. Seine Ergebnisse wurden stark kritisiert, weil seine Versuchspflanzen nicht unter natürlichen Bedingungen standen.

Wir titrierten die Erden der verschiedenen Versuche elektrometrisch mit verschiedenen Säuren, Basen und Salzen. Dabei zeigte sich, daß, wenn man KH_2PO_4 in bestimmter Menge dem Boden zufügt, man stets dieselben, oder sehr ähnliche pH-Werte erhält wie die, die beim gleichen Boden in der wurzelnahen Zone von Lupinen herrschen. Für den Versuch nach Creydt sind diese Ergebnisse in Abbildung 9 wiedergegeben. Die Übereinstimmung dieser pH-Werte mit jenen aus den wurzelnahen Zonen ist deutlich. Es treten aber trotzdem Unterschiede in zweifacher Hinsicht auf. Einmal bestehen häufig verhältnismäßig geringe Differenzen der homologen Werte. Die Werte aus den wurzelnahen Zonen sind in sich ausgeglichener als die durch Zusatz von Kaliumphosphat erhaltenen. Diese Differenzen sind versuchstechnisch zu erklären. Die Werte aus den wurzelnahen Zonen sind Durchschnittswerte von jeweils zehn Messungen, während für die Titrationswerte nur je eine Messung zugrunde liegt. Zum anderen stimmen die homologen Werte bei niederem Kalkgehalt miteinander besser überein als bei höherem. Bei höherem Kalkgehalt liegen die Titrationswerte im allgemeinen unter den pH-Werten der wurzelnahen Zone, näher am Optimalwert. Darauf folgt entweder, daß KH_2PO_4 nicht oder wenigstens nicht allein, als wirksamer Bestandteil der Wurzelausscheidungen in Frage kommt, oder, daß die Ausscheidung der Sekrete durch höheren Kalkgehalt gehemmt wird.

E. Schrifttumsbetrachtung.

Durch die vorliegenden Ergebnisse muß die Streitfrage, ob die Kalkchlorose durch einen zu hohen Gehalt des Bodens an Kalzium oder durch alkalische Reaktion des kohlensauren Kalkes hervorgerufen wird, dahingehend beantwortet werden, daß die Chlorose weder vom Ca-Gehalt noch direkt von der Reaktion des Bodens, sondern nur von der Reaktion der wurzelnahen Zone abhängt.

Den Wurzelsekreten der Lupine ist, außer etwaigem Auflosen schwerlöslicher Bodenbestandteile, die Funktion der Einstellung der optimalen Wasserstoffionenkonzentration in der wurzelnahen Zone zuzuschreiben (vgl. 28). Diese Erkenntnis läßt sich bereits aus drei, voneinander völlig unabhängigen Befunden aus der älteren und jüngeren Literatur folgern.

1910 bringt Aberson (1) Lupinensamen zur Keimung, spült die Wurzeln vorsichtig ab und untersucht die Wasserstoffionenkonzentration der Lösung mittels der Gaskettenmethode. Er findet C_H-$7{,}8 \cdot 10^{-5}$, d. i. pH-4,11. Er folgert daraus, daß die Wurzelausscheidungen wegen ihrer relativ geringen Azidität nicht als lösendes Agens für schwerlosliche Bodensalze in Betracht kämen.

1927 untersucht Mevius (24) die Abhängigkeit des Wurzelwachstums vom Ca-Ion und beobachtet nebenher, daß Lupinus luteus in Wasserkultur niemals chlorotisch wird, wenn die Reaktion bei pH-4,8—5,0 gehalten wird.

1935 veröffentlicht Solberg (36) seine oben erwähnten Untersuchungen und findet in nächster Nähe der Wurzel eine Reaktion von pH-4,71—4,90.

Die Übereinstimmung dieser drei unter ganz verschiedenen Bedingungen und mit ganz verschiedener Methodik gefundenen Werte ist um so überzeugender,

als außerhalb des jeweils gesteckten Arbeitszieles gefunden wurden. Da sie abseits der Problematik der Kalkempfindlichkeit der Lupine stehen, sind sie auch bisher, wenigstens nicht in Zusamenhang miteinander, beachtet worden.

Die Wurzelausscheidungen selbst sind schon sehr häufig mit den Erscheinungen der Kalkempfindlichkeit in Zusammenhang gebracht worden, zunächst in der Annahme, daß sie die schwerlöslichen Kalksalze im Übermaß lösen und hierdurch Ursache einer Überschwemmung der Pflanze mit diesen Salzen sind. In diesem Sinne schreibt zum ersten Mal Sprengel 1839 (37).

Pfeiffer und Blanck dagegen schreiben 1912 (25), die Lupine sei „unzweifelhaft besonders alkaliempfindlich, was für eine schädliche Wirkung der Säurebindung spricht", daher sei „die Kalkempfindlichkeit, wenigstens zum Teil, auf Neutralisationsvorgänge der Wurzelsäuren durch Kalziumkarbonat" zurückzuführen. Es handelt „sich hierbei nicht nur um eine indirekte Wirkung, eine Verminderung des Wurzelaufschließungsvermögens" sondern die Lupine würde „auch direkt von einem selbst schwach alkalisch reagierenden Nährmedium geschädigt". Pfeiffer scheint hier die Zusammenhänge bereits zu ahnen, er geht ihnen aber leider nicht konsequent nach, sondern läßt sich von den Creydtschen Untersuchungen, wie bereits oben dargelegt, soweit beeinflussen, daß er schließlich, der Widersprüche aller Ergebnisse wegen, die Untersuchungen abbricht.

F. Zusammenfassung.

Auf Grund von Sand- und Erdkulturen wird gezeigt, daß die Jugendchlorose der gelben Lupine weder vom Ca-Gehalt des Bodens, noch direkt von der Bodenreaktion, sondern nur von der in nächster Nähe der Wurzel herrschenden Reaktion abhängt[4]). Die Wurzelausscheidungen haben u. a. die Funktion, die Wasserstoffionenkonzentration der wurzelnahen Zone optimal zu gestalten. Aus den Schrifttumsbetrachtungen wird gefolgert, daß die ältere Lupinenpflanze ein physiologisch anderes Verhalten zeigen muß, als die jüngere. In einem Tastversuch wird ein indirekter Versuch gemacht, die Natur der Wurzelausscheidungen zu bestimmen. Es wird als möglich hingestellt, daß es sich hierbei um Monokaliumphosphat handelt. Für den Fall, daß diese Annahme richtig ist, wird gezeigt, daß die Wurzelausscheidungen durch einen höheren Gehalt des Mediums an kohlensaurem Kalk gehemmt werden.

G. Schrifttum.

1. Aberson, J. H.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Natur der Wurzelausscheidungen. Jahrb. f. wiss. Botanik, **47**, 1910, 41.
2. Czapek, Fr.: Zur Lehre von den Wurzelausscheidungen. Ebenda, **29**, 1896, 321.
3. Burk: Untersuchungen über die Wirkung von Kalzium und Magnesium auf das erste Entwicklungsstadium der gelben Lupine (Lupinus luteus). Z. f. Pflanzenern. u. Düngung, B, **5**, 1926, 1.
4. Boas, F. u. F. Merkenschlager: Versuche über die Anwendung kolloidchemischer Methoden in der Pflanzenpathologie. Zentralbl f. Bakteriologie, 2. Abt., **55**, 1922, 508.
5. Boas, F. u. F. Merkenschlager: Ältere Berichte zur Physiologie der Lupine und ihre kolloidchemische Deutung. Z. f. Pflanzenern. u. Dung., B, **2**, 1923, 562.

[4]) Die Abhängigkeit der Entstehung der Reaktionsdifferenz in der wurzelnahen Zone von den Bodenfaktoren stellt ein eigenes Problem dar und wird in einer späteren Arbeit behandelt

6. Boas, F. u. F. Merkenschlager: Spezifische Zuckerwirkung bei Keimversuchen. Biochemische Zeitschrift, **137**, 1923, 300.
7. Boas, F. u. F. Merkenschlager: Die Lupine als Objekt der Pflanzenforschung, Morphologie, Anatomie, Physiologie und Pathologie der gelben Lupine. Berlin Parey 1923.
8. Creydt, B: Untersuchungen über die Kalkempfindlichkeit der Lupine und ihre Bekämpfung. Diss. Göttingen 1914 und Journal f. Landwirtsch., **63**, 1915, 125, 131, 157, 190.
9. Dietrich: Über Vegetationsversuche in unverwittertem Gestein. Verh. d. Ges. D. Naturforscher u. Ärzte, **2/1**, 1899, 129.
10. Frank, B.: Untersuchungen über die Ernährung der Pflanze mit Stickstoff und über den Kreislauf derselben in der Landwirtschaft. Landw. Jahrb., **17**, 1888, 421, 535.
11. Heinrich, R.: „Kalk und Lupine" in „Mergel und Mergeln". Berlin 1896.
12. Kette, W.: Die Lupine als Feldfrucht. 8. Auflage, Berlin 1897.
13. Kunze, G.: Über Säureausscheidungen bei Wurzeln und Pilzhyphen und ihre Bedeutung. Jahrb. f. wiss. Botanik, **42**, 1906, 357.
14. Lemmermann, O.: Untersuchungen über einige Ernährungsunterschiede der Leguminosen und Gramineen und ihre wahrscheinliche Ursache. Landw. Vers. Stat., **67**, 1907, 207.
15. Merkenschlager, F.: Zur Frage der Kalkempfindlichkeit der Lupine 1. Fühl. landw. Zeitung, **70**, 1921, 231.
16 Merkenschlager, F.: Zur Frage der Kalkempfindlichkeit der Lupine 2. Fühl. Landw. Zeitung, **70**, 1921, 271
17. Merkenschlager, F.: Die Chlorose der Lupine auf Kalkböden. Ebenda, **70**, 1921, 19.
18 Merkenschlager, F. Das umstrittene Problem der Kalkempfindlichkeit der Lupine Ernährung der Pflanze, **18**, 1922, 161.
19. Merkenschlager, F.: Die Sichtbarmachung physiologischer Pflanzeneigenschaften im frühesten Keimstadium. Zentralblatt f. Bakteriologie, **58**, Abt. **2**, 1922, 461.
20. Merkenschlager, F.: Weitere Beiträge zur Physiologie der Lupine. Deutsche Landw. Presse, **49**, 1922, 406.
21. Merkenschlager, F.: Die russische Forschung zur Kalkempfindlichkeit der Lupine. Fühl. landw. Zeitung, **71**, 1922, 461.
22. Merkenschlager, F.: Die gelbe Lupine in ihrem Verhalten zum gebundenen Stickstoff. Ein Sammelreferat. Z. f. Pflanzenern. u. Düng., B, **2**, 1923, 530.
23. Merkenschlager, F.: Pflanzenernährung und Pflanzenkrankheiten In Sorauer-Appel: Handbuch für Pflanzenkrankheiten. 6. Auflage, Band I, 1, Berlin 1933.
24. Mevius, W.: Kalzium-Ion und Wurzelwachstum. Jahrb. wiss. Botanik, **66**, 1927, 183.
25. Pfeiffer, Th. u. E. Blanck: Die Kalkfeindlichkeit der Lupine, sowie Bemerkungen über das Verhalten auch einiger anderer Pflanzen alkalisch bzw. sauer reagierenden Nährflüssigkeiten gegenüber. Mitt. d. landw. Institute der Univ. Breslau, **6**, 1911, 273.
26. Pfeiffer, Th. u. E Blanck. Die Kalkfeindlichkeit der Lupine. (Zweite Mitt.) Ebenda, **7**, 1914, 201.
27. Pfeiffer u. Simmermacher: Die Kalkfeinlichkeit der Lupine. Landw. Vers. Stat., **93**, 1919, 1.
28. Schander, H.: Ein Beitrag zur Physiologie der „Kalkchlorose" der Lupine. Ber. D. Bot. Gesellschaft, **53**, 1935, 807. (Vorl. Mitt.).
29. Schander, H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren während ausschließlicher Ernährung durch die Keimblätter in Wasserkultur. 1. Die Wirkung einzelner Salze und der Reaktion. Diese Zeitschr. **8**, 1938.
30. Schander, H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren während ausschließlicher Ernährung durch die Keimblätter in Wasserkultur. 2. Die Wirkung der Reaktion und Salzkonzentration der Nährlösung. Diese Zeitschr. **8**, 1938.

31. Schander, H.: Die „Kalkfeindlichkeit" der Lupine und ihre Beseitigung durch die praktische Züchtung. (In Vorbereitung für den Druck.)
32. Scholz, W.: Bisherige Forschungsergebnisse betreffend die Chlorose der gelben Lupine (Lup. luteus) in ihrer Beziehung zum Eisen. Vorl. Veröffentl. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., A, **25**, 1932, 287.
33. Scholz, W.: Die Chlorose der gelben Lupine (Lup. luteus) in ihrer Beziehung zum Eisen. Ebenda, A, **28**, 1933, 257.
34. Schulze, B.: Düngungsversuch mit kohlensaurem Kalk zu Lupinen. Ber. d. Versuchsstat. Breslau 1898, 13 (ref. Jahresbericht über die Fortschritte auf dem Gesamtgebiete der Agrikulturchemie, 3. Folge, II, 1899, 197, Berlin 1900).
35. Sekera, F.: Offene Fragen der Düngerberatung. Die Phosphorsäure, **3**, Heft 11/12, 1933, cit. 36
36. Solberg, P.: Untersuchungen über die Wurzelausscheidungen verschiedener Pflanzen bei ihrer Kultur ohne und mit Zusatz von Nahrsalzen. Landw. Jahrb. **81**, 1935, 891.
37. Sprengel, C.: Die Lehre vom Dünger. Leipzig 1839, Verlag Müller.
38. Stoklasa, J. u. A. Ernest: Beiträge zur Lösung der Frage der chem. Natur des Wurzelsekretes. Jahrb. f. wiss. Botanik, **55**, 1909, 64. [246]

Zur Methodik der Stallmistuntersuchung[1]).

Mit einem Beitrag zur Kenntnis einiger besonderer Mistarten.

Von **U. Springer.**

Aus dem Laboratorium der Geolog. Landesuntersuchung am Oberbergamt München.

Eingegangen: 18. Juli 1938.

Im Hinblick auf die große Bedeutung des Stallmistes für die Versorgung unserer Böden mit den notwendigen Humusstoffen spielt heute naturgemäß die Methodik der Stallmistuntersuchung, insonderheit die Untersuchung der organischen Substanz, eine wichtige Rolle.

Zwar wurden vom Verfasser in einer vor kurzem erschienenen Veröffentlichung (1) die Methoden und Richtlinien angegeben, nach denen, hauptsächlich vom chemisch-physikalischen Standpunkt aus gesehen, die Untersuchung und Beurteilung der Humusdüngemittel im allgemeinen möglich ist, jedoch liegt gerade im Stallmist ein Produkt von ganz bestimmter Eigenart vor, der bei der Untersuchung in besonderer Weise Rechnung getragen werden muß.

Man wird sich in erster Linie die Frage vorlegen, wie weit der für die Kennzeichnung und den Wert der organischen Substanz vor allem maßgebende Zersetzungs- und Humifizierungszustand unter Vermeidung der mehr oder weniger zeitraubenden gravimetrischen Verfahren (Stoffgruppenanalyse oder Azetylbromidmethode) durch die weit einfacheren und schnelleren kolorimetrischen und oxydimetrischen Methoden mit einer für praktische

---

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/3a des Forschungsdienstes. Federführung Prof. Dr. F. Scheffer-Jena.

Zwecke genügenden Genauigkeit ermittelt werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird daher besonderes Gewicht auf die Prüfung der Leistungsfähigkeit der bekanntesten Extraktionsmittel, wie NaOH, Na_2CO_3, NaF, $Na_2C_2O_4$, gelegt, nachdem unlängst über deren Verhalten bei der Untersuchung von Mineralböden berichtet wurde (2). Eine Übertragung der im folgenden erhaltenen Ergebnisse auf die Untersuchung von Torf, Rohhumus und anderen organischen Materialien erscheint bei Berücksichtigung des verschiedenen Gehaltes an mineralischen Beimengungen und der damit verbundenen wechselnden Absättigung der Humusstoffe ohne besondere Einschränkung berechtigt.

Die Frage der Untersuchung und Bewertung der Nährstoffe des Stallmistes, die, soweit sie in organisch gebundener Form vorliegen, ebenfalls in den Rahmen der vorliegenden Untersuchungen fallen würden, wurde hier nicht berücksichtigt.

Nach Klärung der methodischen Fragen werden anschließend die behandelten Verfahren auf einige besondere Mistarten angewandt.

Bestimmte, in ihrer Art ganz neue Vorschläge zur Stallmistuntersuchung wurden vor nicht langer Zeit von K. Simon (3) gemacht. Sie gehen dahin, daß man zunächst durch einen Auszug mit Wasser und hierauf mit den erwähnten Neutralsalzen, eventuell auch mit Phosphaten und anderen Salzen, möglichst erst die eigentlichen Humusstoffe und anschließend durch eine Extraktion mit schwächeren oder stärkeren Alkalien wie Borax und 1 %ige NaOH, auch die weniger gut humifizierten Stoffe verschiedenen Verrottungsgrades zu erfassen versucht. Im einzelnen geht Simon[2]) so vor, daß er im jeweiligen Extrakt einmal den sogenannten relativen Farbwert (R. F., Verhältnis des kolorimetrischen zum oxydimetrischen Wert, multipliziert mit 100) feststellt, weiterhin den durch Schwefelsäure fällbaren Anteil bestimmt (P.Q., Fällbarkeitsquotient) und schließlich das gefällte Gel selbst auf seine Löslichkeit in bestimmten Lösungsmitteln, wie Ammoniak, Natrium-Fluorid, -Phosphat und -Azetat, prüft (H. Q., Huminsäurequotient = jeweils löslicher Anteil an der gesamtlöslichen Substanz).

Sieht man zunächst von der noch zu erörternden grundsätzlichen Schwierigkeit ab, die Humusstoffe des Stallmistes durch Anwendung gelinder Extraktionsmittel allein völlig zu erfassen, so kann u. E. der von Simon angegebene Weg für die Beurteilung des Stallmistes sehr wertvolle Unterlagen liefern. Einer allgemeinen Anwendung dieser Arbeitsweise steht vielleicht der Umstand hinderlich entgegen, daß sie immerhin einen gewissen Zeitaufwand beansprucht und die Auswertung der Untersuchungsergebnisse eine größere Erfahrung auf dem Humusgebiet verlangt.

Unsere eigenen Bestrebungen zielen hauptsächlich daraufhin, auch den auf diesem Forschungszweig weniger Erfahrenen in die Lage zu versetzen, daß er auf Grund verhältnismäßig einfach durchzuführender Methoden die organische Substanz des Stallmistes möglichst sicher zu charakterisieren und zu beurteilen vermag.

[2]) Nach Abschluß vorliegender Arbeit erschien eine Veröffentlichung von K. Simon und H. Speichermann, in der die Arbeitsweise von Simon nochmals zusammengefaßt dargestellt ist. Z. Bodenkunde u. Planzenernahr., **8**, 1938, 129—152.

I. Methodischer Teil.

1. Die Bestimmung der Stoffgruppen (Komplexanalyse) und des Zersetzungsgrades (Azetylbromidmethode).

Wie die Untersuchungen von O. Siegel (4) und K. Simon (5) an frischem Stallmist und Rinderkot durch Löslichkeitsbestimmungen mittels Azetylbromid, Neutralsalzen und Alkalien ergeben haben, muß schon im Frischmist mit der Gegenwart von echten Humusstoffen gerechnet werden, die offenbar aus dem Kot der Tiere stammen, da ja das Einstreumaterial selbst von jenen Stoffen praktisch frei ist.

Charakteristisch für die im frischen Mist vorhandenen Huminsäuren ist offenbar, daß es sich bei diesen Körpern um noch sehr junge, „unausgereifte", wenig stabile und sehr reaktionsfähige Stoffe handelt, die nur ganz allmählich im weiteren Verlaufe der Gärung auf der Düngerstätte eine größere Stabilität erlangen, wobei aus dem Einstreumaterial gleichzeitig neue Humus- Vor- und Zwischenstufen nachgeliefert werden. Letztere sind im wesentlichen Derivate des Lignins (Ligninsäuren, Humoligninsäuren) und der Zellulose (Oxy- und Hydrozellulose u. a.) und in ihrer Struktur einigermaßen aufgeklärt, dagegen sind wir über die Konstitution der vermutlich melaninartigen Körper im Kot noch im unklaren.

Während nun unsere natürlichen organischen Ablagerungen, wie Torf, Rohhumus, infolge der ganz anders gearteten Faktoren ihrer Bildung (lange Zeiträume, energische und ausgleichende Wirkung der Atmosphärilien, Ausbildung eines biologischen Gleichgewichtes) verhältnismäßig stabile Produkte darstellen, befinden sich im Stallmist auch nach mehrmonatlicher Rotte die unter dem Einfluß der lebhaften Gärungsvorgänge dauernd in Umwandlung begriffenen Stoffgruppen in einem sehr labilen Zustand, der sich naturgemäß auf jede Methodik erschwerend auswirkt.

Die bis heute vorliegenden diesbezüglichen Erfahrungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Bestimmt man bei der Stoffgruppen- oder Komplexanalyse die Gruppe der Hemizellulosen durch Hydrolyse mit 2%iger Salzsäure, so erfaßt man hierbei nicht nur die eigentlichen Hemizellulosen, sondern auch die schon erwähnten hydratisierten und oxydierten Abkömmlinge der Zellulose, die gleichfalls in der schwachen Salzsäure mehr oder weniger löslich sind. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, daß die ebenfalls zur Gruppe der Hemizellulosen zu rechnenden Uronsäurekomplexe, aus den Glukuronsäuren und den isomeren Galakturonsäuren bestehende hochpolymere Körper, die in Verbindung mit Zuckerarten die sogenannte Polyuronide bilden, durch Salzsäure in ihre Komponenten zerlegt und hierbei unter Kohlensäureentwicklung und Furfurolbildung zum Teil zerstört werden. Die von Waksmann selbst, vom Verfasser u. a. bei der Analyse von Torfen, Humusdüngemitteln usw. erhaltenen Fehlbeträge erklären sich im wesentlichen hieraus, worauf bereits früher (1) hingewiesen wurde. Auch F. Scheffer und H. Zöberlein (6) erhielten neuerdings bei der Untersuchung verschiedener Stallmistsorten Summenwerte, die nur 73--81 % der aschefreien Trockenmasse betrugen, so daß also der Rest nicht näher definierter Natur ist.

2. Es ist vor allem aus den Arbeiten von Hilpert (7), Normann (8) u. a. bekannt, daß aus manchen Kohlehydraten, wie Fruktose, Xylose, bei der üblichen Ligninbestimmung mit starker Schwefelsaure durch Kondensationsreaktionen lignin- oder huminähnliche Stoffe gebildet werden, welche die wahren Ligninwerte beträchtlich überhöhen. Mit dieser Fehlerquelle ist auch bei der Untersuchung von Stallmist zu rechnen, da die genannten Kohlehydrate in Form von Polysacchariden, wie Xylan, im Stroh und dessen Verrottungsprodukten reichlich vorkommen. Normann fand ferner, daß bei Gegenwart von Eiweiß auch Stickstoff in die Kondensationsreaktion einbezogen werden kann.

3 In ähnlicher Weise wie die Schwefelsaurehydrolyse kann die Einwirkung von Azetylbromid auf gewisse Nichthumusstoffe, die dieses Lösungsmittel nicht vollkommen löst, zu einer geringen Bildung künstlich humifizierter Produkte führen. Beobachtet wurde diese Erscheinung bis jetzt von uns bei der Azetylbromidbehandlung von Wiesenheu, Buchenlaub und Fichtennadeln. Auch bei der üblichen Behandlung des Stallmistes mit Azetylbromid kann diese künstliche Humifizierung auftreten. Während man nämlich bei Torfen, Rohhumus usw. im allgemeinen keinen Anstieg der kolorimetrischen Werte nach Azetylbromidbehandlung (AcS, AcL) findet -- nur bei Gegenwart von Humosilikaten wird in Mineralboden zuweilen infolge Aufschlusses derselben ein schwacher Anstieg beobachtet (9) — sondern je nach Gehalt an Humoligninsauren und ahnlichen Stoffen einen mehr oder weniger starken Ruckgang der Farbwerte erhalt, tritt bei Stallmistproben in gewissen Fällen eine deutliche Erhöhung jener Werte auf. Der Weg, Lignine und andere Korper, die durch Alkalien unter Bildung rotgefärbter Extrakte unter Umständen aufgeschlossen werden können, mittels Azetylbromid zu entfernen, fuhrt daher bei Stallmistproben nicht ohne weiteres zum Ziele. Nach vorlaufigen Versuchen scheint eine Vorbehandlung mit Salzsaure diese Fehlerquelle zu beheben. Nähere Untersuchungen hieruber sind zur Zeit im Gange.

Ein bemerkenswerter Unterschied zwischen Stallmist einerseits und den in der Natur vorkommenden organischen Bildungen andererseits hat sich auch darin gezeigt, daß jener offenbar infolge der hohen Reaktionsfahigkeit und des außerst labilen Charakters seiner Humusstoffe bei der Behandlung mit Azetylbromid auf Unterschiede in der Beschaffenheit bzw. Reinheit dieses Losungsmittels deutlich anspricht. Wahrend wir bei Mineralböden und bei den bisher untersuchten Torfen bei Verwendung von Azetylbromid „reinst", „chemisch gereinigt" und den bei 70—81° uber dem Drahtnetz aus den Filtraten gewonnenen Destillaten keine deutlichen Unterschiede in den Werten erhielten — die Abweichung vom Mittelwert betrug nicht mehr als etwa ± 2,5 % — haben bei manchen Stallmistsorten die Destillate starkere Abweichungen und zwar nach der negativen Seite ergeben. Es wurde ferner bereits früher (10) beobachtet, daß Eisessig, der sich bei schlechtem Verschluß der Flaschen oder bei der Behandlung von Bodenproben mit Azetylbromid auf dem Wasserbad in größerer Menge in der Lösung gebildet hatte, auf gewisse Humusstoffe in Mineralboden losend wirkte. Bei Zusatz von Eisessig zum Lösungsmittel erhielten wir in allen Fällen niedrigere Werte, wobei anscheinend besonders die Azetolyse der Umwandlungsprodukte der Zellulose („Humozellulosen") begünstigt wird. Da wir hierbei jedoch weder bei der Untersuchung von Torfprofilen noch bei Stallmistproben eine nennenswerte Verschiebung der Werte bzw. eine Änderung des Gesamtbildes beobachten konten, so haben wir, um Komplikationen zu vermeiden, den Eisessigzusatz absichtlich vermieden.

Schließlich ist noch die Frage zu erortern, ob man nach dem Vorschlag von S. W. Souci (11) in aschereichen Torfen — das gleiche würde für Stallmistproben gelten — die Erdalkalihumate durch Vorbehandlung mit schwacher Salzsäure vor dem Ansatz mit Azetylbromid zerlegen soll. Wir fanden früher bei karbonatfreien Mineralböden, daß eine halbstündige Vorbehandlung mit 5 %iger Salzsäure bei 70—80° auf die Huminsäurewerte mehr oder weniger deutlich erniedrigend wirkt. So sanken die Ch-Werte um 5—20 % des ursprünglichen Wertes. Wir haben nunmehr nach Souci bei einigen Mineralböden (Einwaage 2—4 g) mit 100 ccm 2 %iger Salzsäure in der Kälte fünf Stunden

unter maschinellem Rühren digeriert; hierauf wurde filtriert, der Rückstand chlorfrei gewaschen, bei 70° C getrocknet und mit Azetylbromid wie üblich behandelt. Die vorläufigen Versuche ließen entweder keinen oder keinen nennenswerten Rückgang der Ch-Werte erkennen. Es wurde schon früher die Vermutung ausgesprochen, daß die Depression der Werte unter dem Einfluß der Säurebehandlung in der Wärme im wesentlichen auf einer beginnenden Hydrolyse gewisser Humuskörper beruhen dürfte, so daß diese dem Angriff des Azetylbromids leichter unterliegen. Wir halten es daher für zweckmäßig, auch künftig von der Säurebehandlung in karbonatfreien Böden abzusehen. Es bedarf kaum des Hinweises, daß sich in podsoligen Böden, die den säurelöslichen Eisenhumuskomplex enthalten, eine Säurevorbehandlung verbietet. Bei dolomithaltigen Böden würde übrigens die Behandlung in der Kälte nicht zum Ziele führen.

Es hatte sich weiterhin gezeigt, daß kohlensaurer Kalk, der die Azetolyse verzögert, in Mineralböden bis zu einer Menge von etwa 100 mg in der Einwaage entweder nicht oder nicht nennenswert stört. Erweist sich die Entfernung des Kalks bei einem größeren Gehalt des Bodens als notwendig, dann ist die Salzsäuremenge zur Vermeidung der erwähnten Depression der Werte zu dosieren (2, 9).

In organischen Ablagerungen, besonders im Stallmist, kommen größere Mengen von $CaCO_3$ gewöhnlich nicht vor. Da bei der Untersuchung solcher Produkte das Lösungsmittel in geringerem Überschuß angewandt wird wie in Mineralböden, so besteht die Gefahr, daß die für den Lösungsvorgang notwendigen sauren Beimengungen durch größere Mengen Kalk völlig neutralisiert werden. Es empfiehlt sich daher, bis größere Erfahrungen vorliegen, in solchen Fällen die Kohlensäure nach der angegebenen Vorschrift zu entfernen.

Wir erhielten bei Rohhumus und Torf, wenn die Digestion der Proben mit 2%iger HCl in der Kälte durchgeführt wurde, die nachfolgenden Huminsäurewerte. Hierbei enthielten die Rohhumusproben rund 11 bzw. 15%, die Hochmoortorfe 1–3% Asche.

	Direkt mit Azetylbromid behandelt %	Mit Azetylbromid nach HCl-Behandlung %
Rohhumus I	41,69	38,99
Rohhumus II	44,36	40,31
Hochmoortorf I . .	24,88	22,14
Hochmoortorf II . .	27,70	25,64
Hochmoortorf III . .	36,82	35,06

Die HCl-Behandlung führte also stets zu etwas niedrigeren Werten, ohne daß sich eine deutliche Beziehung zwischen dem Aschegehalt und der durch die Behandlung erfolgten Depression der Werte feststellen läßt. Zu berücksichtigen ist, daß beim Auswaschen der säurebehandelten Proben im Tiegel und Umfüllen der Rückstände in das Zersetzungskölbchen mit geringen Substanzverlusten zu rechnen ist, wodurch sich kleinere Unterschiede in den Werten an sich erklären. Wir erhielten im übrigen bessere Übereinstimmung der Parallelversuche, wenn wir wie bisher zum Ansatz den Gesamtrückstand samt Asbest verwendeten, als wenn wir nur mit einem aliquoten Teil desselben arbeiteten.

Es ist nun sehr bemerkungswert, daß gerade beim Stallmist die Vorbehandlung mit 2%iger HCl in gewissen Fällen zu einem sehr starken Rückgang der Huminsäurewerte, bis zu etwa 50% des ursprünglichen Wertes führt (sh. später), was u. E. wiederum in erster Linie mit der großen Labilität mancher Stoffgruppen des Stallmistes zusammenhängt.

Es wurde bereits früher (10) die Vermutung ausgesprochen, daß die schwierige und unvollständige Lösung von Grasern, Blättern und Nadeln wenigstens zum Teil durch den beträchtlichen Aschegehalt dieser Materialien verursacht wird, somit eine analoge Erscheinung vorliegt, wie sie von anderen Autoren bei der Ligninbestimmung beobachtet wurde.

Tatsächlich ergab ein Wiesenheu mit 7,33% Asche, direkt mit Azetylbromid behandelt, 7,47% Rückstand, nach Vorbehandlung mit 2%iger HCl in der Kälte dagegen nur 2,50%. Der Aschegehalt ging hierbei durch die Säurebehandlung allein in 1 g Substanz von 0,0733 g auf 0,0251 g zurück. Im Azetylbromidrückstand betrug er noch 0,0232 g, nach Säurebehandlung nur mehr 0,0117 g. In einem etwas angerotteten Buchenlaub mit 5,80% Asche wurden bei der unmittelbaren Behandlung mit Azetylbromid sogar 17,20%, nach Säurebehandlung dagegen nur mehr 10,49% Rückstand erhalten. Diese vorläufigen Ergebnisse sprechen für die Richtigkeit der früheren Vermutung. Wie weit diese Ursache der Reaktionshemmung auch beim Stallmist eine Rolle spielt, bleibe einstweilen dahingestellt. Daß in manchen Pflanzenprodukten oder auch in Misten Komplexe vorkommen, die zwar in schwacher Salzsäure löslich, jedoch gegen Azetylbromid widerstandsfähig sind, erscheint sehr unwahrscheinlich. Die inzwischen eingeleiteten Versuche sollen zur Klärung dieser und anderer Fragen beitragen. Wir glauben aber jetzt schon annehmen zu dürfen, daß man im allgemeinen für methodische Zwecke den hier angedeuteten Komplikationen nicht Rechnung zu tragen braucht.

2. Die Extraktionsverfahren.

Während heute die Frage der Messung sowohl der Farbtiefe als auch des Farbtons oder Farbtypus eines beliebigen Humusextraktes, besonders seit Einführung der Absolutkolorimetrie in die Humuschemie, als gelöst gelten darf, ist die Frage des bestgeeigneten Lösungsmittels für die Extraktion vorwiegend organischer Materialien, wie Torf, Rohhumus, Stallmist u. dgl. zwecks Feststellung der Humifizierung bis jetzt noch nicht geklärt.

Will man bei letzteren die Humusstoffe vollständig erfassen, so gelingt dieses zweifellos nur durch Anwendung stärkerer Alkalien, wie NaOH, bei höherer Temperatur. Es ist hinlänglich bekannt, daß hierbei auch nicht humifizierte Stoffe in den Extrakt gelangen; soweit diese ungefärbt sind, ist dieser Umstand nur für gravimetrische oder titrimetrische (oxydimetrische), nicht aber für kolorimetrische Messungen von Belang. Es ist jedoch sicher, daß durch stärkere Alkalien auch nicht oder nur schwach humifizierte Stoffe, vermutlich in erster Linie Abkömmlinge des Lig-

nins, unter Anfärbung bzw. Farbvertiefung unmittelbar gelöst oder „aufgeschlossen" werden können.

Während hierbei Stroh nur gelbgefärbte Extrakte liefert, erhält man bei Sphagnum, wie Verfasser schon 1928 zeigte, ebenso bei Gräsern, bei vermodertem Holz, Laub, beachtliche Farbwerte. Ein neuerlicher Versuch zeigte, daß sich bei der Extraktion von noch lebendem Sphagnum auch bei einstündiger Extraktion mit heißer 0,5%iger NaOH relativ geringe Farbwerte, entsprechend etwa 2—3% Huminsäure Merck, ergeben und daß die Werte erst bei Verfärbung der Pflänzchen, also im ersten Verrottungsstadium, erheblich ansteigen.

Um die genannte unerwünschte Laugewirkung auf ein Mindestmaß herabzusetzen und den bekannten Zersetzungseffekt möglichst niedrig zu halten, hat Verfasser statt der früher angewandten 5%igen 0,5%ige Natronlauge als Extraktionsmittel vorgeschlagen. Diese schwächere Konzentration ergab bei Torfen kaum niedrigere Werte als 5%ige NaOH, offenbar weil ihr Lösungsvermögen für die eigentlichen Humusstoffe nicht viel geringer und die farbschwächende, zersetzende Wirkung herabgesetzt ist. Daneben verwenden wir noch 0,5%ige Sodalösung, welche erheblich gelinder wirkt, aber in manchen Materialien wie Torfen nicht unbeträchtliche Mengen stark humifizierter Stoffe (Humine) ungelöst läßt. Noch geringer ist schließlich der Lösungseffekt der besonders von K. Simon (12), A. Hock (13, 14, 15) und L. Pozdena (16, 17) vorgeschlagenen schonend extrahierenden Salze der Fluorwasserstoffsäure, der Oxalsäure, Phosphorsäure, Essigsäure, Zitronensäure u. a., so daß diese nur einen Bruchteil der wirklich vorhandenen Humusstoffe erfassen und im allgemeinen nicht ohne weiteres geeignet sind, einen richtigen Maßstab für die wirkliche Humifizierung zu liefern, wie ich bereits anläßlich der Untersuchung von Humusdüngemitteln gezeigt habe (1). Neuerdings weist auch Souci (11) daraufhin, daß durch die Fluoridextraktion in den meisten Fällen nur ein Teil der anwesenden Huminsäuren in Lösung geht und zu ähnlichen Schlüssen kommt Siegel (18) bei seinen Extraktionsversuchen an Stallmist. Da andererseits die genannten Neutralsalze weniger fremde Bestandteile lösen als die Alkalien, so darf man erwarten, daß im allgemeinen die relativen Farbwerte nach Simon in den Neutralsalzextrakten höher liegen als in den alkalischen Auszügen.

Ungeachtet dieser grundsätzlichen Schwierigkeiten haben wir es unternommen, die genauen Bedingungen festzustellen, unter denen bei der Extraktion mit NaF und $Na_2C_2O_4$ wenigstens vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können. Vom Stallmist mit seinem hohen Gehalt an Humusübergangsstufen durften wir außerdem wertvolle Aufschlüsse über die Art (Farbtyp) der unter verschiedenen Bedingungen gelösten Stoffe erwarten. Nach Erörterung einiger bei der alkalischen Extraktion organischer Materialien besonders zu beachtender Erfahrungen sollen die an drei typischen Stallmistproben gewonnenen Ergebnisse der verschiedenen Extraktionsverfahren einander gegenüber gestellt werden.

Das Untersuchungsmaterial.

Von einem drei bis vier Monate gelagerten Stallmiststapel der Nederlinger Düngerstatte der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München, der in üblicher Weise aufgesetzt, spater aber aus Platzersparnisgründen umgesetzt werden mußte, wurden drei verschiedene Proben gezogen.

Probe I stammt aus der stark zersetzten Randschicht von rötlicher Farbe und wurde einige cm vom Rande entfernt entnommen.

Probe II stammt aus der weniger zersetzten Schicht aus dem Inneren des Haufens mit mehr strohiger Struktur und grünlichgelber Farbe. Sie zeigte an der Luft starkes Nachdunkeln.

Probe III stammt aus einer braun- bis braunschwarzen Schicht im Innern des Stapels und zwar von einer Stelle, an der sich beim Umsetzen Hohlräume gebildet hatten. Hier konnte Niederschlagswasser in vermehrtem Maße eindringen und führte zu einer starken Dunkelfarbung des Mistes.

Die Proben wurden zunachst an der Luft vorgetrocknet, dann bei 50 bis 70° C nachgetrocknet und hierauf zunächst in einer Schrotmühle gemahlen. Anschließend wurde an kleineren Durchschnittsproben in einer Spezialmühle eine Feinmahlung bis auf 0,2 mm vorgenommen, worauf die Proben längere Zeit an der Luft liegen blieben, bis sich ein praktisch konstanter Wassergehalt einstellte.

a) Die Extraktion mit Natriumfluorid und Natriumoxalat.

Es wurde bereits an anderer Stelle (1) darauf hingewiesen, daß die aus Torf und organischen Düngemitteln durch Extraktion mit Natriumfluorid bei gewöhnlicher Temperatur erhaltenen Farbwerte eine starke Abhängigkeit vom jeweiligen pH-Wert zeigen, der sich bei der Extraktion in der Lösung einstellt. Es wurde ferner wahrscheinlich gemacht, daß die durch Zusatz von Lauge auftretende maximale Farbvertiefung um so großer ist, je niedriger der pH-Wert der Losung ist und daß bei gleichem pH der Lösung die Farbtiefe um so mehr ansteigt, je mehr die gelosten Stoffe den Charakter von Humusvorstufen besitzen.

Die im folgenden mitgeteilten Versuche sollen zunächst zur weiteren Klärung dieser Fragen beitragen (s. Tabelle 1).

Zu diesem Zwecke wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. In der ersten Reihe (Sr Fl. und Sr Ox.) wurde zunachst die Stallmistprobe (1- 2 g) mit 100 ccm 5%iger HCl eine halbe Stunde behandelt und zwar mit Rucksicht auf die Gefahr einer kunstlichen Humifizierung der vorhandenen hochempfindlichen Stoffe nicht wie sonst bei 70—80° C sondern bei zirka 50° C[3]). Nach Auswaschen der Saure im Goochtiegel wurde der Rückstand mit 1%iger Fluorid- bzw. Oxalatlosung unter Zugabe steigender Mengen n/10 oder auch n NaOH, so daß das Gesamtvolumen stets 100 ccm, das der Neutralsalzlösung nie weniger als 95 ccm betrug, eine halbe Stunde im Erlenmeyerkolben mit aufgesetztem Trichter gekocht. Infolge der Verdampfungsverluste konnte bei einiger Vorsicht nach dem Abkühlen auf 100 ccm aufgefüllt werden.

Nach unseren Erfahrungen wurde bei dem angewandten Verhältnis von Einwaage zu Lösungsmittel ungefähr das Maximum der Farbtiefe erhalten. Ebenso hat sich die halbstündige Extraktion für vergleichende Stallmistuntersuchungen als ausreichend erwiesen, wenn auch der einstündige Auszug noch etwas höhere Werte ergab.

In der zweiten Versuchsreihe (Fluorid, Oxalat), bei der die Vorbehandlung mit Säure unterblieb, wurde statt Lauge n/5 H_2SO_4 zur Salzlösung gegeben, im übrigen aber in der gleichen Weise extrahiert.

Die Extrakte wurden sofort zentrifugiert und in einem Teil des Zentrifugates die pH-Werte festgestellt, wobei die Messung der Werte von 8,4

[3]) Versuche bei verschiedenen Temperaturen ließen jedoch kaum Unterschiede erkennen.

Tabelle 1. Farbtiefe und Farbton von Fluorid- und

Probe	Extraktionsmittel	Zugesetzte ccm n/10 NaOH	pH des Extraktes	„Prozente Huminsäure“ kolorimetrisch: direkt gemessen % Huminsäure	direkt gemessen F. Q.	nach L-Zusatz gemessen % Huminsäure	nach L-Zusatz gemessen F. Q.	Anstieg (b : a)	oxydimetrisch (% Huminsäure)
				a		b			
Mist I	Sr Fl.	—	6,6	2,18	5,1	2,87	5,1	1,32	10,46
		0,50	6,6	2,23	5,3	3,09	5,2	1,38	—
		5,00	6,8	2,35	5,3	3,25	5,3	1,38	10,66
		10,00	7,4	2,48	5,3	3,25	5,2	1,31	--
		15,00	8,1	3,16	5,2	3,94	5,3	1,24	13,38
		20,00	9,3	3,55	5,2	4,11	5,3	1,16	20,66
	Sr Ox.	—	5,4	1,51	5,8	2,49	5,0	1,66	
		5,00	5,9	1,71	5,7	2,70	5,0	1,58	
		7,50	6,9	2,50	5,2	3,47	5,1	1,39	
		10,00	8,1	3,21	5,3	3,85	5,1	1,20	
		15,00	9,2	3,85	5,3	4,62	5,1	1,20	
Mist II	Sr Fl.	—	6,6	0,95	4,0	1,37	4,3	1,44	6,38
		5,00	6,7	1,05	4,1	1,45	4,2	1,38	—
		10,00	8,1	1,39	4,2	1,81	4,4	1,30	6,64
		15,00	8,7	1,73	4,7	2,15	4,7	1,24	10,00
	Sr Ox.	—	5,8	0,80	4,4	1,31	4,4	1,64	
		5,00	6,0	1,22	4,3	2,05	4,4	1,68	
		7,50	6,8	1,74	4,2	2,54	4,4	1,46	
		10,00	9,0	2,62	4,4	3,07	4,3	1,17	
		15,00	9,2	2,95	4,4	3,41	4,2	1,15	
Mist III	Sr Fl.	—	6,6	1,90	4,2	2,68	4,4	1,34	6,53
		5,00	6,6	2,11	4,2	2,83	4,3	1,34	6,27
		10,00	6,9	2,41	4,4	3,12	4,2	1,29	7,18
		15,00	8,4	3,21	4,3	3,97	4,2	1,23	9,14
	Sr Ox	--	5,5	1,57	4,6	2,32	4,4	1,48	
		5,00	6,3	2,32	4,2	3,25	4,2	1,40	
		10,00	9,2	4,39	4,5	4,98	4,4	1,13	
		15,00	9,3	4,73	4,5	5,32	4,4	1,12	

mit der Wasserstoffelektrode erfolgte. Im anderen Teil des Zentrifugates wurde mittels Stufenphotometers unter Verwendung von Filter S 57 (F 5) die Extinktion gemessen und hieraus die Huminsäure in Prozenten (als acidum humin.) nach der bereits mitgeteilten Formel (1) berechnet. Nunmehr wurde die Lösung mit 2%iger Lauge im Verhältnis 1 : 1 verdünnt, worauf zur Bestimmung der Farbvertiefung abermals k gemessen wurde.

pH betrug in der mit Lauge vermischten Lösung ungefähr 13; durch weitere Erhöhung der NaOH-Konzentration wurde in keinem Falle eine weitere Farbvertiefung erhalten.

Der Farbton des Extraktes läßt sich, wie an anderer Stelle (2) ausgeführt wurde, sehr gut durch den Quotienten der Extinktionskoeffizienten der Filter S 47 (F 8) und S 61 (F 4), den sogenannten Farbtonquotieten-F. Q. (8/4) charakterisieren. Zum Vergleich sei angeführt, daß Huminsäure Merck und Kasseler Braun in alkalischer Lösung F. Q.-Werte von 3,4 und 3,6, eine in Azetylbromid

Oxalat-Extrakten in Abhängigkeit von ihren pH-Werten.

in der Trockensubstanz

Extraktionsmittel	Zugesetzte ccm n/5 H_2SO_4	pH des Extraktes	kolorimetrisch					oxydimetrisch
			direkt gemessen		nach L.-Zusatz gemessen		Anstieg	
			% Huminsäure	F. Q.	% Huminsäure	F. Q.	(b : a)	(% Huminsäure)
			a		b			
Fl.	–	9,3	3,90	5,2	4,32	5,3	1,11	24,63
	1,00	6,5	2,74	5,1	3,25	5,4	1,18	16,16
	2,00	6,4	2,57	5,1	3,25	5,4	1,26	14,04
	2,50	5,3	2,02	5,6	2,83	5,5	1,40	--
Ox.	–	9,2	4,54	5,4	4,87	5,4	1,07	
	0,50	8,5	3,31	5,3	3,50	5,4	1,06	
	0,75	7,1	2,93	5,2	3,42	5,4	1,16	
	1,00	5,6	2 13	6,1	3,15	5,3	1,48	
Fl.	–	8,4	2,16	3,5	2,38	4,4	1,10	10,56
	1,00	6,4	1,26	3,5	1,39	4,5	1,10	7,16
	2,00	4,8	0,58	4,7	1,00	4,8	1,73	5,34
Ox.	—	9,2	3,16	3,8	3,16	4,0	1,00	
	0,50	8,6	1,94	3,6	2,09	4,2	1,07	
	0,55	6,8	1,71	3,4	1,75	4,5	1,02	
	0,75	6,0	1,33	3,5	1,62	4,5	1,22	
	1,00	5,2	0,67	4,9	1,14	5,0	1,70	
Fl.	—	9,2	4,18	4,3	4,48	4,3	1,07	17,25
	0,75	6,7	2,62	4,0	3,12	4,4	1,19	9,01
	2,00	6,1	2,11	4,0	2,58	4,6	1,22	—
	2,50	5,6	1,48	4,2	1,98	4,7	1,34	--
Ox.	--	9,3	4,81	4,3	4,98	4,4	1,04	
	0,50	8,5	3,72	4,2	3,80	4,5	1,02	
	0,55	6,6	2,85	4,2	3,50	4,4	1,23	
	0,65	5,9	2,05	4,6	3,08	4,4	1,52	
	1,00	4,8	1,46	5,1	2,48	4,5	1,70	

lösliche Hymatomelansäure (Humoligninsäure) einen Wert von 4,4 zeigten. Je höher also diese Werte liegen, um so mehr wird der Farbton ausgesprochen rot und um so mehr muß mit einem Huminsäuretyp vom Charakter der Humusvorstufen gerechnet werden. Allerdings ist bei der alkalischen Extraktion von Torf, Stallmist usw. zu berücksichtigen, daß durch Soda oder Lauge aufgeschlossene, nichthumifizierte Stoffe ähnliche F. Q.-Werte ergeben können wie etwa Huminsäure Merck. Bei der nötigen Vorsicht in der Auswertung wird man aber trotzdem aus dem Quotienten wertvolle Schlüsse auf den Farbtyp und u. U. das Reifestadium der gelösten Stoffen ziehen können.

Der pH-Wert unserer 1%igen NaF-Lösungen lag zwischen 6,3 und 6,5; pH der frisch bereiteten $Na_2C_2O_4$-Lösungen lag nahe am Neutralpunkt; bei längerem Aufbewahren der letzteren stieg

pH auf 8 und darüber. Kleinere Unterschiede in den Farbwerten können daher auf Schwankungen der pH-Werte der Oxalatlösungen zurückgeführt werden.

Mist I zeigte nach Vorbehandlung mit Säure und Auswaschen der gelösten Stoffe in dem mit NaF erhaltenen Extrakt einen pH-Wert von 6,6, ebenso Mist II und Mist III. Kleine Zusätze an Lauge zur NaF-Lösung, bis zu 5 ccm n/10 NaOH, haben infolge des starken Pufferungsvermögens dieser Miste pH kaum und die Huminsäurewerte nicht nennenswert zu erhöhen vermocht; die Lauge wird zunächst sofort zu Humatbildung verbraucht, wobei noch bis zu einem pH-Wert von etwa 9 saure Humate entstehen (nach Odén zeigt das primäre Natriumhumat NaH_3R_{Hum} ein pH von etwa 5, das sekundäre Salz $Na_2H_2R_{Hum}$ etwa pH 7, das tertiäre Salz Na_3HR_{Hum} etwa pH 9 und erst das quartäre Humat Na_4R_{Hum} ein pH von etwa 11). Gibt man nun zum Extrakt starke Lauge, bis sich ein pH-Wert von etwa 13 einstellt (s. oben), so erhält man die bekannte Farbvertiefung, die in der Regel um so stärker ist, je saurer der Extrakt ursprünglich war, wie die Werte der vorletzten senkrechten Reihe zeigen. Wir wissen heute noch nicht, ob es sich bei dieser von den Indikatoren her bekannten Erscheinung um eine bloße Dispersitätsänderung handelt (Übergang der Humusstoffe aus dem kolloiden in den maximaldispersen Zustand) oder ob eine sog. Tautomerie vorliegt, wobei die als Pseudosäuren gedachten Huminsäuren und Zwischenstufen durch das Alkali unter gleichzeitiger Ausbildung chromophorer Gruppen in die Aci-Form übergeführt würden (19).

Wir sehen vor allem, daß die Huminsäurewerte sehr stark vom pH-Wert abhängen· während wir z. B. bei Mist I bei der direkten Extraktion des durch Säure entbasten Humuskomplexes mit NaF bei einem pH von 6,6 nur 2,87% Huminsäure (nach Laugezugabe) erhalten, beträgt der Wert bei Zugabe von 20 ccm n/10 NaOH 4,11% und bei der unmittelbaren Extraktion mit Fluorid 4,32% (pH in beiden Fällen 9,3). Es ist hierbei gleichgültig, ob man vom säurevorbehandelten Material ausgeht und durch Laugezusatz die Reaktion gegen das alkalische Gebiet zu verändert oder umgekehrt, wie in der zweiten Versuchsreihe, den pH-Wert im Lösungsmedium durch sukzessive Säurezugabe zum unbehandelten Material allmählich ins saure Gebiet verschiebt. Völlige Übereinstimmung der Werte beider Versuchsreihen bei gleichen pH-Werten in den Extrakten ist nicht zu erwarten, in erster Linie, weil durch die Säurebehandlung auch in Fluorid lösliche Stoffe (Fulvosäuren) entfernt werden können. Es läßt sich auch nicht mit Sicherheit sagen, ob durch die Entfernung der zweiwertigen Basen, z. T. auch der Sesquioxyde, der Angriff des Lösungsmittels erleichtert oder erschwert wird. Fluorid und Oxalat zeigen hierbei wahrscheinlich auch spezifische Unterschiede.

Die durch Oxydation in alkalischer Lösung erhaltenen oxydimetrischen Werte müssen naturgemäß in der ersten Versuchsreihe infolge Herauslösung von Hemizellulosen u. a. Stoffe nied-

riger sein als in der zweiten Reihe, wie durch die Ergebnisse bestätigt wird.

Sehr bemerkenswert sind die hohen F. Q.-Werte bei Mist I, die noch über dem Wert liegen, den wir früher für die in Azetylbromid völlig lösliche Hymatomelansäure gefunden haben (4,4). Einen ähnlich hohen Wert (5,0) fanden wir früher für vermodertes Eschenholz, das ebenfalls in Azetylbromid löslich war. Da die hier extrahierten Stoffe wenigstens z. T. in Azetylbromid unlöslich und somit als echte Humusstoffe anzusprechen sind, so darf man hieraus folgern, daß aus dem Farbtyp der Humusstoffe, wie wir ihn im Qxalat-, Fluorid- oder im alkalischen Extrakt bestimmen, noch nicht mit absoluter Sicherheit auf den Charakter der Stoffe selbst geschlossen werden kann. Es wäre u. E. im vorliegenden Falle irrig, aus dem hohen F. Q.-Wert etwa auf einen weniger gut gereiften Mist bzw. auf die besonders reichliche Gegenwart von Humusvorstufen zu schließen, denn gerade diese Probe weist einen sehr günstigen Zersetzungsgrad auf (s. später). Wir glauben, daß der rötliche Farbton des Mistes, der in dem hohen F. Q.-Wert seinen Ausdruck findet, im wesentlichen durch oxydierende Einflüsse, wie sie an der Randzone leicht auftreten können, hervorgerufen wird und mit dem Reifegrad des Mistes selbst in keinem engeren Zusammenhange steht. Durch den Luftsauerstoff (oder auch durch aerobe Bakterien?) können sehr wohl bestimmte chromophore Außengruppen des Huminsäuremoleküls verändert werden, ohne daß hiervon das Molekül selbst in seiner inneren Struktur und damit in seinen wesentlichen Eigenschaften, so im Verhalten gegen Azetylbromid betroffen wird. Daß etwa der braune Humusfarbtyp, wie er mehr den eigentlichen Huminsäuren eigen ist, durch gewisse rotgetönte Humusvorstufen überdeckt wird, kann bei der gleichmäßigen Beschaffenheit dieses Mistes nicht angenommen werden. Auch die Tatsache, das F. Q. in dem hier untersuchten p_H-Intervall (6,6—9,3) sehr gleichmäßig ist, spricht dafür, daß die jeweils gelösten Stoffe annähernd denselben Charakter besitzen.

Aus der zweiten Versuchsreihe ist ersichtlich, daß bei einem p_H-Wert des Extraktes von 5,3, der sich bei Zugabe von 2,50 ccm n/5 H_2SO_4 eingestellt hat, F. Q. ansteigt, d. h., es werden im stark sauren Medium bevozugter Weise die am schwächsten humifizierten Stoffe gelöst. Bemerkenswert ist noch, daß sich F. Q. durch Laugezugabe praktisch nicht oder nur wenig ändert.

Bei der Extraktion mit Oxalat stellten sich nach Säurevorbehandlung stets niedrigere p_H-Werte ein als beim Fluoridauszug. Dementsprechend sind auch die Huminsäurewerte etwas niedriger und andererseits der Farbanstieg nach Laugezusatz etwas stärker als bei der Fluoridextraktion. Das Lösungsvermögen von Oxalat erweist sich im allgemeinen kräftiger als das von Fluorid.

Zu beachten ist, daß bei Mist I im sauren Medium ($p_H = 5,4$, bzw. 5,9) sehr hohe F. Q.-Werte auftreten (5,8 und 5,7), die jedoch durch den Laugezusatz auf den für diese Probe ungefähr „nor-

malen“ Wert von 5,0 zurückgehen. Man vergleiche auch den letzten Versuch mit Oxalat in der zweiten Versuchsreihe. Auf diese Erscheinung, sowie auf die hieraus sich ergebende Notwendigkeit, für vergleichende Untersuchungen F. Q. bei gleichem pH zu bestimmen, habe ich bereits letzthin (2) hingewiesen. Wir werden daher auch den folgenden Betrachtungen in erster Linie die im stark alkalischen Medium gemessenen F. Q.-Werte zugrunde legen.

Mist II läßt die gleiche Abhängigkeit der Huminsäurewerte vom pH-Wert erkennen und zeigt trotz seiner geringen Zersetzung — man beachte auch die geringere Löslichkeit in den Neutralsalzen — niedrigere F. Q.-Werte als Mist I. Erst bei einem pH-Wert von 8,7 (erste Reihe) werden anscheinend zusätzlich auch weniger humifizierte Produkte gelöst, allenfalls durch die Lauge sogar aufgeschlossen, so daß F. Q. auf 4,7 ansteigt. Im stark sauren Extraktionsmedium (pH = 4,8, siehe zweite Versuchsreihe) hingegen werden nur sehr wenig Humusstoffe gelöst, und zwar anscheinend von sehr geringem Reifegrad. Die Farbtiefe steigt hier durch Laugezusatz auf das 1,73 fache.

Die Extraktion des säurevorbehandelten Mistes II mit Oxalat ergibt bei gleicher pH-Basis erheblich höhere Werte als die Extraktion mit Fluorid. Die F. Q.-Werte unterscheiden sich nur wenig von den vorigen und zeigen im Gegensatz zu den NaF-Werten innerhalb des angewandten pH-Intervalls praktisch die gleiche Höhe. Extrahiert man mit Oxalat unter Säurezusatz (zweite Reihe), so erhält man Humusstoffe von etwas wechselndem Farbtyp; im sauren Gebiet (pH = 5,2) steigt F. Q. an (5,0), d. h, es werden ähnlich wie bei der Fluoridextraktion nicht nur sehr geringe Mengen an Humusstoffen, sondern offenbar auch die weniger wertvollen Stoffe erfaßt (man beachte auch hier den starken Farbanstieg durch Laugezusatz). Sehr auffällig und z. Z. noch nicht erklärbar sind die niedrigen F. Q.-Werte der nicht mit Lauge versetzten Oxalat- und Fluoridextrakte bei pH-Werten $>$ 6,0 und der mit der alkalischen Einstellung verbundene Anstieg. Es taucht die Frage auf, ob diese Erscheinung nicht auf die in schwach zersetzten Misten mengenmäßig stärker hervortretenden melaninartigen Stoffe der Kotbestandteile zurückzuführen ist, die vermutlich dem Grauhuminsäuretyp, der ja eine besonders flache Farbkurve bzw. niedrige F. Q.-Werte aufweist, genetisch nahestehen. Der Laugezusatz müßte in diesem Falle eine in ihrem Wesen noch unbekannte Umwandlung zum roten Farbtyp zur Folge haben. Wir sehen hier die Notwendigkeit, die beiden Hauptkomponenten des Stallmistes, Einstreumaterial und Kot auf den Verlauf des Humifizierungsvorganges hin getrennt zu untersuchen, um in den verwickelten Vorgang der Stallmistverrottung tieferen Einblick zu gewinnen. Auffallender Weise wurden die erwähnten Komplikationen bis jetzt nur in der zweiten Versuchsreihe beobachtet.

Mist III zeigt wieder eine bessere Löslichkeit wie Mist II; die Abhängigkeit der Werte vom pH-Wert des Extraktionsmediums

besteht in gleicher Weise wie bei Mist I und Mist II. Bemerkenswert ist, daß trotz der dunkleren Farbe dieses Mistes die F. Q.-Werte nicht niedriger sind als bei Mist II. Der Anstieg von F. Q. des Fluoridextraktes bei pH 5,6 und 6,1 (zweite Versuchsreihe) bedarf auch hier noch der Klärung. Die Erscheinung, daß im sauren Bereich (pH = 4,8) F. Q. des Oxalatextraktes höher wird, um nach Laugezusatz wieder auf den betreffenden Normalwert zu sinken, wobei gleichzeitig ein starker Farbanstieg durch Laugezusatz beobachtet wird, ist uns bereits oben begegnet.

Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen: Natriumoxalat besitzt im allgemeinen ein besseres Lösungsvermögen als Natriumfluorid. Die Menge der durch diese Salze gelösten Humusstoffe hängt im hohen Maße vom pH-Wert ab, der sich im Extraktionsmedium einstellt. Schon geringe pH-Unterschiede können hierbei erhebliche Differenzen in den kolorimetrischen Werten hervorrufen. Mit sinkendem pH-Wert geht die Menge der gelösten Humusstoffe zurück; ein Vergleich der letzteren ist daher nur auf gleicher pH-Basis möglich. Auch der Farb- bzw. der Huminsäuretyp der extrahierten Stoffe zeigt vor allem im sauren Gebiet eine Abhängigkeit vom pH-Wert der Lösung. Während sich unter den gewählten Arbeitsbedingungen bei der direkten Extraktion mit Oxalat ein ziemlich gleichmäßiger pH-Wert von 9,2—9,3 einstellte, treten anscheinend bei der unmittelbaren Fluoridextraktion, der im Hinblick auf die Möglichkeit der Berechnung des relativen Farbwertes nach Simon größere Bedeutung zukommt, Unterschiede im pH-Wert auf, die nicht vernachlässigt werden dürfen.

Um Komplikationen, die durch anwesende salzsäurelösliche Stoffe und die verschiedenen Bindungsverhältnisse entstehen können, zu vermeiden, würde man die Extraktion am besten in dem mit Säure (5%ige HCl bei etwa 50°) vorbehandelten Material vornehmen und evtl. nur soviel Lauge zugeben, daß nach beendeter Extraktion der eben gewünschte pH-Wert erzielt wird. Ein höher bemessener Laugezusatz führt infolge des guten Pufferungsvermögens bei Stallmist u. U. zu demselben pH-Wert, wobei aber Farbwert und oxydimetrischer Wert ansteigen können. Um eine genaue Vergleichsbasis zu gewinnen, sind also gewöhnlich mehrere Vorversuche nötig.

Wie schon früher (2) angegeben, können für eine vergleichende Bewertung nur solche Farbtiefenwerte herangezogen werden, die bei gleichem pH der Lösung oder in stark alkalischem Medium (pH nicht $<$ 13) gemessen wurden. Ebenso ist ein Vergleich des Farbtypus der gelösten Stoffe nur dann zulässig, wenn seine Bestimmung im neutralen oder noch sicherer im alkalischen Gebiet vorgenommen wird, da im sauren Gebiet (pH $<$ 6) Änderungen in der Lichtabsorption auftreten können, in dem Sinne, daß mit zunehmender Wasserstoffionenkonzentration die typische Farbkurve steiler bzw. F. Q. höher wird.

b) Die Extraktion mit 0,5%iger Sodalösung und Natronlauge.

Wie schon erwähnt, wird durch die genannten Neutralsalze nur ein Teil der Humusstoffe erfaßt. Bei der Extraktion von Rohhumus, Torf, aber auch Stallmist mit Fluorid und Oxalat bei Siedetemperatur beobachtet man, daß der ausgewaschene Rückstand noch reichlich dunkle humifizierte Teilchen enthält. Selbst nach der Extraktion mit 0,5%iger Sodalösung oder Lauge, die erheblich hellere Rückstände liefert, erkennt man mit der Lupe, selbst im Stallmist, noch einzelne, in die hellgefärbte Grundmasse eingebettete dunkel gefärbte Teilchen. Da diese Körper auch nach Zerlegung etwaigen Kalkhumates durch Vorbehandlung mit Säure nicht völlig verschwinden, so kann es sich hierbei nur um eine Art Humuskohle handeln, offenbar hochkondensierte Produkte, über deren Herkunft und Struktur wir noch nichts wissen. Daß es sich nicht etwa um künstliche Produkte einer „Alkalihumifizierung" handelt, geht daraus hervor, daß feingemahlenes Stroh, Sphagnum, vermodertes Holz usw. bei der gleichen Behandlungsweise mit Lauge keine derartigen Stoffe liefern; sie müssen also bereits fertig im Stallmist (Kot?) vorliegen.

In jüngster Zeit hat Souci (11) festgestellt, daß aus isolierten Torfhuminsäuren hergestellte Alkalihumatlösungen bei Zugabe von Lauge eine Farbvertiefung erfahren, deren Maximum mit Sicherheit erst bei einer Konzentration von 1% NaOH, entsprechend einem pH-Wert von mindestens 13 erreicht wird. In Extrakten mit stark puffernden Substanzen, wie alkalischen Torfauszügen, erhält man selbst bei dieser OH-Konzentration noch nicht immer das Farbmaximum, so daß Souci die Messung in solchen Fällen sogar in einer 5%igen NaOH-Lösung ausführt.

Wie die Tabelle 1 (zweite Versuchsreihe) zeigt, erhielten wir bei der unmittelbaren Extraktion mit Oxalat, die zu einem pH-Wert von 9,2—9,3 führte, durch Zugabe von NaOH bis zu 1% in der Lösung, keinen oder nur einen sehr geringen Farbanstieg. Bei der Fluoridextraktion war dieser etwas deutlicher. Noch stärker und jedenfalls außerhalb der Fehlergrenzen liegend war die Erhöhung der Werte, wenn die Extraktion nach Säurevorbehandlung erfolgte (Versuchsreihe 1). Durch eine weitere Erhöhung der Laugekonzentration konnte in keinem Falle eine weitere Zunahme der Farbwerte beobachtet werden. Unsere durch Extraktion von 1—2 g Stallmist mit 100 ccm 0,5%iger Sodalösung und Auffüllen auf 250 ccm erhaltenen Auszüge wiesen, auch nach Säurevorbehandlung, gleichmäßig zwischen 10,2 und 10,5 liegende pH-Werte auf. Die Zunahme der Farbtiefe der unmittelbar mit Soda gewonnenen Extrakte betrug, stets mit Filter S 57 (F 5) gemessen, maximal 5% der ursprünglichen Farbtiefe. Bemerkenswert ist, daß die nach Säurebehandlung erhaltenen Auszüge (SrS) eine größere Intensitätszunahme zeigten und zwar verhielten sich die bei der Konzentration von 1% NaOH maximalen Farbwerte vor und nach Laugezugabe bei Mist I wie 1:1,15, bei Mist II wie 1:1,22, bei Mist III wie 1:1,10. Die Laugeauszüge, deren pH-Werte sich (auch nach Säurevorbehandlung) auf 12,2—12,5 einstellten, ließen wiederum praktisch kaum einen Anstieg erkennen; bei den SrL-Extrakten war er jedoch wieder deutlicher (bis zu 5% des Ausgangswertes). Offenbar werden also durch die Säurebehandlung noch Stoffe frei gelegt,

die bei der Erhöhung des pH-Wertes von etwa 10 auf 13 eine mäßige Farbvertiefung erfahren. Methodisch wichtig erscheint bei diesem Vorgang, daß die Probe II mit der geringsten Humifizierung die größte Farbvertiefung und umgekehrt die Probe III mit der stärksten Humifizierung die geringste Farbvertiefung aufweist.

Wurden ferner von einem aschearmen Kasselerbraun, von Huminsäure Merck und einer aus dieser durch Auszug mit Alkohol gewonnenen, in Azetylbromid völlig löslichen Humoligninsäure Lösungen mit 0,5%iger Sodalösung hergestellt, in dem je 0,1 g Substanz mit 100 ccm Lösung eine viertel Stunde gekocht wurden, so zeigten diese zunächst pH-Werte zwischen 10,3 und 10,5. Durch Zugabe von NaOH bis zur Konzentration von 1% wurde der maximale Farbanstieg erreicht, der sich in der genannten Reihenfolge verhielt wie 1 : 1,05, 1 : 1,08 und 1 : 1,15. In analoger Weise hergestellte Auszüge mit 1%iger Oxalatlösung, welche die Huminsäure Merck und die Humoligninsäure, nicht aber Kasselerbraun vollständig löste, ergaben folgende entsprechende Verhältnisse: 1 : 1,08 1 : 1,12, 1 . 1,27. Die pH-Werte der Oxalatextrakte lagen nahe bei 9,0.

Wir sehen also, daß der „Laugeeffekt", bezogen auf eine bestimmte pH-Basis, je nach Gehalt an Humoligninsäure — Kasselerbraun ist davon praktisch frei, während Huminsäure Merck gegen 50% enthält — verschieden ist. Offensichtlich ist er im allgemeinen bei den ausgereiften Huminsäuren am geringsten, bei den Humusvorstufen am größten. Aus dem Verhalten von Mist I muß freilich geschlossen werden, daß ein starker Laugeeffekt ähnlich wie ein hoher F. Q.-Wert nicht in allen Fällen als ein untrügliches Kriterium für das Vorhandensein wenig gereifter Huminsäuren betrachtet werden darf. Im allgemeinen aber wird sich der Laugeeffekt zweifelsohne bei der kolorimetrischen Messung von Oxalat-, Soda- und Laugeextrakten von Torfen, Rohhumus, Stallmistproben u. dgl. mit einem reichlichen Gehalt von Humuszwischenprodukten dahin auswirken, daß die Huminsäurewerte bzw. Humifizierungszahlen schlecht humifizierter Materialien im Vergleich mit solchen von gut humifizierten Produkten zu hoch gefunden werden. Um diese irreführende Überhöhung der Humifizierungszahlen in jenen Substanzen möglichst niedrig zu halten, erscheint es uns daher zweckmäßiger, von einer Laugezugabe vor der Messung möglichst abzusehen und letztere bei annähernd gleichen pH-Werten vorzunehmen, wie sie sich bei der Soda- und Laugeextraktion unter gleichen Extraktionsbedingungen und gleichen Volumenverhältnissen der aufgefüllten Extrakte von selbst einstellen.

Die Frage des Laugezusatzes spielt auch eine Rolle bei der Bildung des Quotienten L/S (SrL/SrS), den Verfasser schon seit längerer Zeit zur Feststellung von Huminen und Humolignínen in Boden und humosen Ablagerungen verwendet (10). Wie unsere Versuche zeigten, erfuhren die bei der üblichen Extraktion von zirka 0,2 g organischer Substanz mit 100 ccm 0,5%iger Lauge (evt. nach Säurevorbehandlung) und Auffüllen des Extraktes auf 250 ccm erhaltenen Werte bei Torf, Rohhumus, den Humusformen des Podsols u. a., ähnlich wie bei Stallmist durch Erhöhung der Laugekonzentration bis auf 5%

entweder keinen oder nur einen so geringen Anstieg, daß dieser in den allermeisten Fällen vernachlässigt werden kann. Dagegen wurde bei den Sodaextrakten, deren pH-Werte stets zwischen 10,2 und 10,5 lagen, durch den Laugezusatz eine sehr deutliche Steigerung des Farbwertes beobachtet, so daß hierdurch der genannte Quotient niedriger wird.

In der folgenden Tabelle 2 sind von verschiedenen Materialien und Böden zunächst der Anstieg der L- und S-Werte durch Laugezusatz sowie die Quotienten L/S — bei den mit *) versehenen kalkhumathaltigen Böden die Quotienten SrL/SrS — mit und ohne Laugezusatz wiedergegeben.

Es muß vorausgeschickt werden, daß wir bei den aus Schwarzerden und gesunden Kulturböden in üblicher Weise hergestellten Extrakten stets einen Quotienten von ungefähr 1 bzw. nur wenig unter oder über 1 gefunden haben. Eine Laugezugabe bis zu einer Konzentration von 1 % oder gar 5 % kommt bei diesen Böden aus dem einfachen Grunde nicht in Frage, da hierbei häufig Flockungen von Grauhuminsäuren (wie in Schwarzerden und ähnlichen Böden) oder auch von Ton auftreten. Nach unseren Erfahrungen erhält man überhaupt bei aschereichen Substanzen durch Erhöhung der Laugekonzentration auf 5 % sehr leicht trübe oder wenigstens opaleszierende Lösungen, die nicht mehr gemessen werden können, so daß man sich meist mit einer Laugezugabe bis zu 1 % begnügen muß.

Aus Tabelle 2 ist zunächst ersichtlich, daß auch Huminsäuren bei der üblichen 0,2 %igen Soda- bzw. Laugekonzentration einen L/S-Wert von > 1 (in den angeführten Beispielen 1,04—1,06) aufweisen können. Nach Laugezugabe ging der Quotient auf 1 oder sogar < 1 zurück, wobei geringe Abweichungen nach der negativen Seite entweder durch Meßfehler oder durch den stärkeren Zersetzungseffekt der Lauge hervorgerufen wurden. Liegt also der in

Tabelle 2.

Probe	Anstieg durch NaOH-Zusatz L-Wert	Anstieg durch NaOH-Zusatz S-Wert	L/S (SrL/SrS) ohne NaOH-Zusatz	L/S (SrL/SrS) mit NaOH-Zusatz
	von 1 auf		Zusatz	
Huminsäure Merck	1,02	1,11	1,06	0,97
Huminsäure aus Schotterboden	1,00	1,09	1,04	0,95
Huminsäure aus Schwarzerde	1,00	1,06	1,06	1,00
Kasselerbraun	1,00	1,05	1,20	1,14
Sphagnum, lebend	1,00	1,05	1,30	1,24
Sphagnum, tot (verfärbt)	1,06	1,19	1,80	1,60
Eschenmoder	1,02	1,18	1,35	1,17
Fichtenrohhumus, 2—5 cm	1,02	1,11	1,29	1,19
Fichtenrohhumus, 12—15 cm	1,02	1,07	1,12	1,07
Hochmoortorf, 0,50 m	1,04	1,05	1,12	1,11
Hochmoortorf, 1,80 m	1,04	1,24	1,37	1,14
Moorboden E. I*), 20—25 cm	1,00	1,12	1,26	1,13
Moorboden E. I*), 30—35 cm	1,01	1,16	1,61	1,40
Anmooriger Boden E. II*), 20—30 cm	1,02	1,09	1,12	1,05
Moorboden S.*), 2—5 cm	1,01	1,19	1,28	1,09
Moorboden S.*), 20—30 cm	1,00	1,15	1,14	0,99
Podsol D., A_1-Horizont	1,00	1,12	1,18	1,05
Podsol D., B-Horizont	1,05	1,13	1,06	0,98
Degradierte Braunerde J., AB-Hor.	1,00	1,11	1,18	1,06

der bisherigen Weise berechnete Quotient nur wenig > 1, so kann noch nicht mit Sicherheit auf die Gegenwart von Huminen und anderen in Soda schwerlöslichen Verbindungen geschlossen werden. Nur wenn der auch nach Laugezugabe berechnete Quotient immer noch > 1 liegt, muß mit dem Vorhandensein von Huminen, schwerlöslichen Zwischenstufen oder durch Lauge unter Anfärbung aufschließbaren Ligninen u. dgl. gerechnet werden.

Wir sehen, daß der Farbanstieg der S-Werte der eigentlichen Huminsäuren und des Kasselerbrauns kaum mehr als 5—10 % beträgt (Huminsäure Merck enthält bereits Vorstufen). Ist er höher, dann ist er sehr wahrscheinlich durch Humusvorstufen oder durch Soda aufschließbare Stoffe verursacht. Der Quotient geht in diesem Falle durch den Laugezusatz und zwar entsprechend dem Gehalt an diesen Stoffen zurück.

Im Kasselerbraun sind es Humine und Lignohumine, die auch nach Laugezugabe zu dem Wert von 1,14 führten. Im frischen Sphagnum tritt die aufschließende Wirkung der Alkalien, vor allem der Natronlauge, deutlich in die Erscheinung. Den höchsten Quotienten finden wir bei Sphagnum (verfärbt), das sich im ersten Stadium der Humifizierung befindet. In diesem Stadium entstehen also die nur durch Lauge löslichen bzw. aufschließbaren Stoffe in besonders reichlichem Maße. Auch das im wesentlichen aus Ligninen und Humoligninen sowie deren Säuren bestehende vermoderte Eschenholz läßt die Anwesenheit dieser Körper gut erkennen. Der Fichtenrohhumus zeigt in seiner oberen Stufe einen höheren Gehalt an laugelöslichen (aufschließbaren) Stoffen wie in der unteren Stufe (1,19 bzw. 1,07). Wie der stärkere Rückgang des Quotienten nach Laugezusatz in der oberen Stufe zeigt, sind hier auch die sodalöslichen Humoligninsäuren stärker vertreten. Es muß festgehalten werden, daß im unteren, schon etwas moderartig ausgebildeten Horizont mit seinem Gehalt an stabileren Humusstoffen L/S enger wird. Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Hochmoortorf. Hier wird der Wert mit größerer Tiefe höher. Der starke Anstieg des S-Wertes und der entsprechende Rückgang des L/S-Wertes spricht für eine relative Zunahme der sodalöslichen Humusstoffe mit der Tiefe. Ähnliche Verhältnisse finden wir im Moorboden F. I. Der hohe Quotient der dem Torfe aufliegenden Übergangsstufe (30 bis 35 cm) weist wiederum auf einen beträchtlichen Gehalt an Humusvorstufen hin. Einen stark ausgeglichenen Charakter mit sehr geringem Huminanteil zeigt hingegen der in seinem Humus den Schwarzerden ähnliche anmoorige Boden E. II. Der Moorboden S enthält in der unteren Stufe, wie der Quotient 0,99 zeigt, überhaupt keine Humine u. dgl. Der S-Anstieg und ursprüngliche L/S-Wert von 1,14 erklärt sich sehr wahrscheinlich aus einer geringen Menge nicht ganz ausgereifter Huminsäuren. In der oberen, weniger gut zersetzten Stufe, weisen der starke S-Anstieg und die erhebliche Verengerung des Verhältnisses deutlich auf die Anwesenheit von Humoligninsäuren hin. Im kohligen Humus des A_1-Horizontes des Podsols D. sind die Humine deutlich nachweisbar, während sie im Ortstein-Horizont fehlen. Die degradierte Braunerde J. zeigt ganz ähnliche Werte wie der erwähnte A_1-Horizont. Aus der weit niedrigeren H. Z. der ersteren (29,1) gegenüber der H. Z. des letzteren (108) muß aber geschlossen werden, daß der L/S-Wert von 1,06 in der Braunerde durch die farbschwächeren Humoligine verursacht wird.

Mit Rücksicht auf die ziemlich verwickelten Verhältnisse, die sich bei schwächer humifizierten Substanzen, zu denen im allgemeinen auch die Miste zu rechnen sind, ergeben, haben wir bei den Stallmistproben von der Bildung des L/S-Quotienten abgesehen.

3. Zusammenstellung der Ergebnisse der verschiedenen Methoden.

In den folgenden Tabellen 3—5 sind von den drei charakteristischen Stallmistproben die Ergebnisse der wichtigsten für vergleichende Untersuchungen in Frage kommenden Methoden zusammengestellt.

Aus der Tabelle 3 ist vor allem ersichtlich, daß die in ihrem Aussehen und ihrer Struktur so verschiedenen Proben I und III bei geringem Unterschied im Gehalt an Asche bzw. an organischer Substanz (Glühverlust) in ihren Werten für Gesamtkohlenstoff (C_t) fast gleich sind. Auch die auf organische Substanz umgerechneten C_t-Werte zeigen nur geringe Unterschiede. Die schlechter zersetzte Probe II, die viel weniger Asche und daher

Tabelle 3.
Die wichtigsten quantitativen Werte.

Probe	In % der Trockensubstanz							
	Asche	Organ. Substanz	C	Lignin	Huminsäure (Azetylbromid)[4]			N
					direkt	+ Eisessig	nach HCl	
Mist I	25,62	74,38	39,97	33,92	35,12	30,18	21,18	3,01
Mist II	16,33	83,67	43,48	32,06	16,47	11,58	14,80	1,72
Mist III	26,93	73,07	39,82	37,09	29,24	26,37	23,25	2,36
	C/N		in % der organischen Substanz (Glühverlust)					
Mist I	13,3		53,74	45,6	47,2	40,6	28,5	4,04
Mist II	25,3		51,96	38,3	19,7	13,8	17,7	2,05
Mist III	16,9		54,50	50,8	40,0	36,1	31,8	3,22

[4]) Als Glühverlust (im Glasfiltertiegel) bestimmt.

einen höheren Kohlenstoffgehalt in der Trockensubstanz aufweist, fällt durch den niedrigeren C-Wert ihrer organischen Substanz sofort auf. Man sieht, daß sich größere Unterschiede im Zersetzungszustand auch in einem verschiedenen Kohlenstoffgehalt der organischen Stoffe äußern.

Besonders bemerkenswert sind die Lignin- und Huminsäurewerte. Auf organische Substanz umgerechnet, ist der Ligninwert — die Bestimmung erfolgte mit 80%iger Schwefelsäure und Hydrolyse der verdünnten Lösung am Rückflußkühler — in der Probe III am höchsten, er fällt deutlich ab in der Probe I und noch mehr in der Probe II. Ein anderes Bild ergeben die mit Azetylbromid bestimmten Huminsäurewerte. Hier finden wir den höchsten Wert in Probe I. In Probe III ist der Wert deutlich niedriger und fällt sehr stark ab in der Probe II, jedenfalls weit mehr als der Ligninwert. Auffallend erschien zunächst, daß die Probe III mit der dunkleren Farbe und anscheinend besseren Humifizierung einen niedrigeren Wert ergab als die mehr rötlich gefärbte Probe I. Durch Zusatz von Eisessig (50 : 2) erhielten wir nun zwar niedrigere Werte, wie nach unseren früheren Erfahrungen zu erwarten war, das Bild selbst hat sich aber hierbei nicht grundsätzlich geändert. Offenbar wurde durch den Eisessigzusatz der azetolytische Zerfall mancher Stoffe mit Übergangscharakter begünstigt.

Sehr bemerkenswert ist die starke Depression der Werte, die dann eintritt, wenn vor der üblichen Azetylbromidbehandlung eine Behandlung mit 2%iger Salzsäure nach dem Vorschlag von Souci durchgeführt wurde. Während sich hierbei der Wert der Probe II nur wenig senkte, erfuhr nunmehr der Wert von III und besonders von I einen starken Rückgang, wobei III sogar etwas über I zu stehen kommt. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß der Rückgang der Werte nur durch die Entfernung der von den Humusstoffen gebundenen und bei der Einwirkung des Azetylbromids evt. störenden Basen durch die Salzsäurebehandlung hervorgerufen wird, da sich in diesem Falle die Proben

kaum so unterschiedlich verhalten würden. Wir vermuten vielmehr, daß sich vor allem in der Probe I, in etwas geringerem Maße auch in der Probe III, durch den Verrottungsprozeß reichliche Mengen an Umwandlungsprodukten oder humifizierten Abkömmlingen der Zellulosen und Hemizellulosen gebildet haben, die durch die Salzsäurebehandlung eine hydrolytische Aufspaltung erfahren und dadurch dem Angriff des Azetylbromids leichter unterliegen. Ein Grund, diese vermutlich heller gefärbten Produkte nicht zu den eigentlichen Humusstoffen zu rechnen, liegt bis jetzt nicht vor.

In Übereinstimmung mit dem höchsten Zersetzungsgrad (Z. G.) der Probe I weist diese auch das engste C/N-Verhältnis auf; deutlich weiter ist das Verhältnis der Probe III und in noch größerem Abstande folgt Probe II.

Besonderes Interesse verdienen die folgenden in Tabelle 4 und 5 wiedergegebenen kolorimetrischen Daten.

Bei Anwendung von 0,5%iger Natronlauge (L), die das Maximum der Löslichkeit ergibt, stellte sich, auch wenn eine Säurebehandlung vorangegangen war (SrL), im Extrakt (auf 250 ccm aufgefullt) sehr gleichmäßig ein p_H-Wert von 12,0—12,4 ein. Da die SrL-Extraktion keine oder nur wenig höhere Werte ergibt als der L-Auszug allein, so muß daraus gefolgert werden, daß die Humusstoffe in keiner festen Bindung mit den Erdalkalien vorliegen. Der Quotient SrL/L als Maß für die Bindungsfestigkeit liegt demzufolge auch sehr nahe bei 1 (siehe Tabelle 5). Unter Berücksichtigung des geringen Farbanstiegs in 1%iger NaOH-Konzentration betrugen die entsprechenden Werte 1,01, 1,02 und 1,03.

Ein ganz ähnliches Bild, nur etwas niedrigere Werte entsprechend dem geringeren Lösungsvermögen der 0,5%igen Sodalösung, ergibt die S- und SrS-Extraktion; die p_H-Werte der Extrakte liegen wiederum gleichmäßig bei 10,2—10,4. Auf die Erhöhung der Farbwerte durch Laugezugabe bis zu 1% NaOH, die sich bei den drei Proben verschieden auswirkte, habe ich bereits oben hingewiesen.

Wie die Humifizierungszahlen der L-, SrL-, S- und SrS-Extrakte sehr deutlich zeigen, finden wir bei der dunkelsten Probe die höchsten Werte und bei der schwächst zersetzten Probe die niedrigsten Werte; die Ergebnisse der sehr gut zersetzten, aber in der Farbe mehr rötlichen Probe I liegen eher höher als wir nach der Farbe erwartet haben.

Die Werte der NaF-Extraktion liegen deutlich niedriger als die der S-Extraktion, was wiederum durch das geringere Lösungsvermögen der 1%igen Fluoridlösung bedingt ist. Die p_H-Werte der Extrakte von I und III sind praktisch gleich, jener von II hingegen etwas niedriger. Auch hier zeigt Probe II die geringste Humifizierung. Es erscheint uns, wie schon erwähnt, nicht ganz richtig, zur Beurteilung der Humifizierung der Probe I und III die durch Laugezugabe (p_H ca. 13) erhaltenen Maximalwerte

Tabelle 4. Kolorimetrische und oxydimetrische

Probe	„Prozente Huminsäure" kolori-												
	L		Sr L		S			Sr S			Fl		
					ohne L-Zusatz		mit L	ohne L		mit L	ohne L		mit L
	pH		pH		pH			pH			pH		
Mist I	12,2	6,32	12,1	6,63	10,4	5,13	5,39	10,2	4,92	5,66	9,3	3,90	4,32
Mist II	12,0	4,63	12,3	4,63	10,4	3,64	3,71	10,2	3,27	3,99	8,4	2,16	2,38
Mist III	12,1	7,49	12,4	7,71	10,2	6,30	6,68	10,2	5,81	6,39	9,2	4,18	4,48
	Humifizierungszahlen												
Mist I	8,8		8,9		6,9		7,3	6,6		7,0	5,2		5,8
Mist II	5,5		5,5		4,4		4,4	3,9		4,8	2,6		2,8
Mist III	10,3		10,6		8,5		9,1	8,0		8,8	5,7		6,1

Tabelle 5. Relativer Farbwert,

Probe	Kolorimetrischer : oxydimetrischer Wert (R F)*)							
	L	Sr L	S		Sr S		Fl	Sr Fl
			ohne L	mit L	ohne L	mit L		
Mist I	0,16	0,20	0,17	0,18	0,20	0,23	0,18	0,27
Mist II	0,13	0,14	0,16	0,16	0,15	0,18	0,23	0,22
Mist III	0,22	0,25	0,28	0,29	0,27	0,29	0,26	0,41

*) ohne den Faktor 100.

heranzuziehen, da der Farbanstieg in diesem Falle bei I stärker ist als bei III, so daß die Farbunterschiede hierdurch nahezu ganz verwischt werden. Wäre auch Probe II bei pH von 9,2 extrahiert worden, so wäre der kolorimetrische Wert zweifellos unter Angleichung an die Ergebnisse der S- und L-Extraktion höher ausgefallen (siehe später). Bei Säurevorbehandlung stellt sich in den Extrakten ein wesentlich niedrigerer und zwar im vorliegenden Falle konstanter pH-Wert von 6,6 ein. Die Farbwerte liegen dementsprechend bedeutend niedriger und erfahren durch Laugezusatz einen erheblichen Anstieg.

Auffallend ist, daß durch die Säurebehandlung die Unterschiede der Humifizierung in den Proben I und III völlig verschwinden; offenbar sind unter diesen Extraktionsbedingungen die Humusstoffe von rötlicher Farbe — vielleicht tritt infolge der erwähnten Sauerstoffwirkung ein gewisser Abbau der Huminsäuremoleküle ein — leichter peptisierbar als die dunkel gefärbten und wohl auch höhermolekularen Stoffe der Probe III.

Die Oxalatextraktion, die zu sehr gleichmäßigen pH-Werten führte, ergibt ein ganz ähnliches Bild wie die Fluoridextraktion, jedoch liegen die Werte von Probe II, wohl zum Teil infolge des höheren pH-Wertes, deutlich höher als bei der Fluoridextraktion; auch im ganzen hat Oxalat etwas mehr Humusstoffe gelöst als Fluorid. Man beachte auch hier, daß durch Lauge-

„Huminsäureprozente“; Humifizierungs- und Sauerstoffzahlen.

in der Trockensubstanz

metrisch									oxydimetrisch					
Sr Fl			Oxal.			Sr Oxal.			L	Sr L	S	Sr S	Fl	Sr Fl
ohne L		mit L	ohne L		mit L	ohne L		mit L						
pH			pH			pH								
6,6	2,18	2,87	9,2	4,54	4,87	5,4	1,51	2,49	39,73	33,76	30,11	24,17	24,63	10,46
6,6	0,95	1,37	9,2	3,16	3,16	5,8	0,80	1,31	34,87	33,24	23,14	21,68	10,56	6,38
6,6	1,99	2,68	9,3	4,81	4,98	5,5	1,57	2,32	34,64	31,37	22,62	21,74	17,25	6,53
(H. Z.)									Sauerstoffzahlen (S. Z.)					
2,9		3,9	6,1		6,5	2,0		3,3	53,4	45,4	40,5	32,5	33,1	14,1
1,1		1,6	3,8		3,8	1,0		1,6	41,7	39,7	27,65	25,9	12,6	7,6
2,7		3,7	6,6		6,8	2,1		3,2	47,4	42,9	30,95	29,8	23,6	9,0

Farbquotient und SrL/L-Wert.

Farbquotient (F. Q.)**)								SrL/L	
L	Sr L	S	Sr S	Fl	Sr Fl	Oxal.	SrOxal.	direkt	mit L-Zusatz
5,4	5,1	5,4	5,5	5,3	5,1	5,4	5,0	1,05	1,01
5,0	4,8	4,7	4,9	4,4	4,3	4,0	4,4	1,00	1,02
5,0	4,7	4,5	4,5	4,3	4,4	4,4	4,4	1,03	1,04

**) gemessen in 1%iger NaOH.

zugabe die Unterschiede von I und III nahezu verwischt wurden. Wird die Extraktion nach Säurebehandlung durchgeführt, so resultieren ziemlich saure Extrakte (pH = 5,4 -- 5,8) und damit auch sehr niedrige Huminsäurewerte. Die durch Laugezusatz erhaltenen Maximalwerte (vgl. die SrFl-Werte) liegen um rund 50% über den direkt erhaltenen. Auch hier finden wir wie bei der entsprechenden Fluoridextraktion die bemerkenswerte Erscheinung, daß die H. Z. der heller gefärbten Probe I ebenso hoch liegt wie die der Probe III, vermutlich infolge der geringeren Peptisation der höher kondensierten Humusstoffe der letzteren.

In Übereinstimmung mit den kolorimetrischen Werten zeigen auch die oxydimetrischen Werte, daß das Lösungsvermögen in der Reihenfolge Lauge, Soda, Fluorid abnimmt. Die Säurevorbehandlung wirkt sich bei der L- und S-Extraktion anders aus als bei der Fluoridextraktion. Im ersteren Falle hat pH keine Änderung erfahren und die Extraktionsbedingungen sind somit die gleichen geblieben, abgesehen davon, daß durch die halbstündige Behandlung mit 5%iger Salzsäure bei ungefähr 50° gewisse auch in Alkali lösliche Hemizellulosen entfernt wurden. Da die Bindung der Humusstoffe, welche die lösende Wirkung des Alkalis beeinträchtigt, sehr locker ist, so ist die völlige Lösung dieser Bindung durch die Säurebehandlung ohne Einfluß auf den gesamten Löslichkeitseffekt. Im Falle der Fluoridextraktion sind die erhal-

tenen Werte hauptsächlich infolge der niedrigen pH-Zahlen stark zurückgegangen; doch können durch die Salzsäure auch Stoffe entfernt worden sein, die durch Fluorid peptisiert werden.

Sehr bemerkenswert ist nun, daß sich die Säurevorbehandlung auf die Werte der L-Extraktion, die ja die Humusstoffe am vollständigsten erfaßt, in der Probe I am stärksten ausgewirkt hat, weniger in der Probe III und am wenigsten in der Probe II, so daß sich Parallelen zu den mit und ohne Säurebehandlung erhaltenen Azetylbromidwerten ergeben. Wahrscheinlich liegen in den beiden ersten Misten die schon erwähnten Uronsäurekomplexe in größerer Menge vor, die bei der Säurebehandlung teilweise hydrolysiert oder sogar zerstört werden. Waksman und Reuszer (20) konnten zeigen, daß sich diese Stoffgruppe im Laufe der Umwandlungsvorgänge in den verschiedensten Materialien anreichern kann. Damit wäre erklärt, daß diese im schwach zersetzten Mist am geringsten vertreten ist.

Man sieht weiter (vgl. besonders die S. Z.), daß aus der organischen Substanz von Mist I sowohl durch die Alkalien als auch durch Fluorid die höchste Menge gelöst wird, dann folgt Mist III und schließlich Mist II. Es ist ferner ersichtlich, daß S und L aus Probe II trotz des wesentlich niedrigeren Z. G. relativ reichliche Mengen gelöst haben. Hier liegt also zweifellos eine Mitlösung bzw. ein Aufschluß im wesentlichen farbloser Stoffgruppen vor — man vergleiche die viel deutlicheren Unterschiede der H. Z. — ein Vorgang, der bei der Fluoridextraktion weniger in die Erscheinung tritt.

Die Tabelle 1 (erste Versuchsreihe) zeigte weiterhin, daß auch nach Säurebehandlung bei Zusatz von Lauge bis zur Einstellung auf ungefähr gleiche pH-Zahl im Extrakt der oxydimetrische Wert der Probe I (13,38 °/₀, pH = 8,1) wesentlich über dem entsprechenden Wert der Probe III (9,14 °/₀, pH = 8,4) liegt bei gleichen kolorimetrischen Werten (3,94 °/₀ bzw. 3,97 °/₀). Würde man daher mit Simon annehmen, daß Fluorid nur die eigentlichen Humusstoffe erfaßt, so wäre Probe I der Probe III überlegen, während sie den Farbwerten nach ungefähr gleich zu stellen wäre. Diese Folgerung erscheint uns gleichwohl zunächst verfrüht, da ja durch NaF die Humusstoffe in dem angewandten sehr schwach alkalischen Reaktionsbereich sicher nicht vollständig erfaßt werden. Da aber auch die oxydimetrischen S- und L-Werte bei Probe I höher liegen als bei Probe III und zwischen den Extraktionsergebnissen und den Azetylbromidwerten Gleichsinnigkeit besteht, so erscheint uns doch der Schluß berechtigt, daß in der Probe I die organische Substanz zu einem größeren Prozentsatz als in Probe III aus eigentlichen Humusstoffen besteht, wenn diese auch bei I eine geringere Farbtiefe und einen anderen Farbton aufweisen. Dieses Ergebnis wird durch die ebenfalls bekannte Tatsache, daß Humusstoffe von verschiedenem Farbcharakter auch einen etwas verschiedenen Permanganatverbrauch zeigen, nicht nennenswert beeinflußt.

Einen guten Einblick in den Charakter der jeweils gelösten Stoffe erhält man, wenn man nach dem Vorschlage von Simon das Verhältnis des kolorimetrischen Wertes zum oxydimetrischen Wert bildet (Relativer Farbwert, R. F.).

Liegen im Extrakt reichlich schwachgefärbte Humusvorstufen oder gar farblose Körper vor oder sind die gelösten echten Humusstoffe sonstwie von heller Farbe (vgl. Probe I), so liegt der Quotient naturgemäß niedriger als wenn diese eine starke Dunkelfärbung aufweisen oder wenn nur wenig nicht-humifizierte Stoffe im Extrakt enthalten sind. Hinzu kommt, daß der Oxydationswert mit zunehmender Farbvertiefung etwas abnimmt und umgekehrt. Es ist auch ohne weiteres klar, daß der Quotient der nach Säurebehandlung gewonnenen Extrakte gewöhnlich höher liegt als wenn unmittelbar extrahiert wurde, da durch die Salzsäure meist laugelösliche und oxydable Stoffe entfernt werden. Man wird daher zum Vergleich möglichst nur die mit Säure vorbehandelten Proben heranziehen.

Es ist für den Stallmist charakteristisch, daß der genannte Quotient im allgemeinen sehr niedrig liegt. Ähnliche Werte wie die vorliegenden erhielt unlängst auch Siegel (18). Die kolorimetrische Messung der Extrakte nach Laugezusatz hat bei den SrS-Werten zu einer leichten Erhöhung geführt, ohne das Bild zu ändern. Offenbar irreführend und nicht brauchbar erscheint der Quotient des direkten Fluoridauszuges von Probe II, da hiernach diese am wenigsten zersetzte Probe entgegen allen anderen Werten einen höheren R. F. aufweisen würde als Probe I. Ein richtiges Bild wird jedoch erhalten, wenn eine Säurevorbehandlung durchgeführt wird. Man gelangt so zu reineren Lösungen und dem entsprechend auch zu höheren Werten.

Wir dürfen aus den R. F.-Werten folgern, daß in der Probe I heller gefärbte, vermutlich oxydierte Huminsäuren, in der Probe III solche von dunkler Farbe vorliegen und daß wohl die Stoffe der Probe II die geringste „Reife“ zeigen. Zu ähnlichen Schlüssen haben uns freilich bereits die Humifizierungszahlen, die durch die S- und L-Extraktionen erhalten wurden, geführt. Eine Parallelität zwischen H. Z. und R. F. braucht im übrigen nicht zu bestehen, da letzterer lediglich einen Ausdruck für die Farbtiefe der jeweils löslichen Stoffe darstellt, während die Größe der H. Z. nicht nur durch die Farbtiefe, sondern auch die Menge der vorhandenen Humusstoffe bestimmt ist. Die Bestimmung von R. F. vermag daher die H. Z. nicht zu ersetzen.

Was schließlich die Farbtonquotienten (F. Q.(8/4)) betrifft, die der Vergleichbarkeit wegen durchwegs im stark alkalischen Medium bestimmt wurden, so erkennt man, daß in Probe I, die in allen Extraktionsmitteln die höchsten Werte aufweist, Humusstoffe vorliegen, die man ihres ausgesprochen roten Farbtons wegen zunächst zu den azetylbromidlöslichen Humusvorstufen rechnen möchte. Wenn nun auch solche in den Extrakten zweifellos mit enthalten sind, ist doch gerade aus dem Verhalten dieser Probe gegen Azetylbromid zu folgern, daß die gelösten Stoffe zum großen Teil als echte Humusstoffe anzusprechen sind. In Analogie zum R. F. dürfen also auch aus dem Farbton Schlüsse auf den Humuscharakter (Huminsäuretyp) nur mit großer Vorsicht gezogen werden.

Die S- und L- (ebenso SrS- und SrL-) Werte der Probe II lassen die verstärkte Mitlösung von hellrotgefärbten Humoligninsäuren deutlich erkennen, denn sie liegen durchweg höher als die F. Q.-Werte der Fluorid- und Oxalatextraktion. Auf die auffallende Erscheinung, daß diese schwach zersetzte Probe so relativ günstige F. Q.-Werte zeigt, wurde schon hingewiesen.

Die F. Q.-Werte der Probe III lassen, vom L-Wert abgesehen, bei den verschiedenen Lösungsmitteln keine größeren Unterschiede erkennen und bestätigen die auf andere Weise bereits festgestellten günstigen Humifizierungsverhältnisse.

Von einer Wiedergabe der doppellogarithmischen Farbkurven, die durchweg einen praktisch geradlinigen Verlauf zeigten und somit auch als „typische Farbgerade" bezeichnet werden dürfen, kann abgesehen werden. Bezüglich der Einzelheiten der Charakterisierung des Farbtyps sei auf meine letzte Arbeit (2) hingewiesen.

Zusammenfassend kommen wir auf Grund des mit Azetylbromid bestimmten Zersetzungsgrades, des C/N-Verhältnisses und der oxydimetrischen Werte aller Extraktionsverfahren zum Schlusse, daß in der Randprobe I die Zersetzung, mengenmäßig betrachtet, am weitesten vorangeschritten ist. Die im Vergleich mit der viel dunkler gefärbten Probe III schon äußerlich erkennbare geringere Humifizierung der Probe I, die in den relativ niedrigen Humifizierungszahlen der Soda- und Lauge-Extraktion, der R. F.- und F. Q.-Werte ihren Ausdruck findet, scheint lediglich eine Folge oxydierender Einflüsse zu sein und darf nicht als Zeichen einer geringen „Reife" dieser Humusstoffe gewertet werden. Wenn die Humifizierungszahlen der Fluorid- und Oxalat-Extraktion der Proben I und III keine deutlichen Unterschiede ergeben, so liegt die Ursache hierfür sehr wahrscheinlich in der schweren Peptisierbarkeit der dunkelbraunen, offenbar höher kondensierten Humusstoffe der Probe III.

Die Probe II ist den beiden anderen in Übereinstimmung aller Ergebnisse, ausgenommen R. F. des Fluoridauszuges, sowohl im Zersetzungsgrad als auch in der Humifizierung erheblich unterlegen.

I. I Spezieller Teil.

Nach Klärung der methodischen Fragen wurden im folgenden sechs auf dem Versuchsgut Nederling der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz hergestellte Miste, von denen je drei (Nr. 1—3, Nr. 4—6) nach ganz bestimmten Gesichtspunkten bereitet wurden, eingehend untersucht. Hierzu wurden im wesentlichen die gleichen Methoden wie oben, nur mit geringer Einschränkung, angewandt.

Von der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz (Sachbearbeiter: Reg.-Rat Dr. Fürst) wurden mir sowohl über die Fragestellung als auch über die Art der Mistbereitung freundlicherweise folgende Angaben zur Verfügung gestellt[5]).

[5]) Über weitere Einzelheiten wird die genannte Anstalt später berichten.

Im Winter 1936/37 wurden bei der Stallmistbereitung auf dem Versuchsgut Nederling zwei Fragen in Versuchen geprüft, nämlich:

1. Der Einfluß der Zugabe von Erde und Asche während der Stapelung.
2. Der Einfluß verschiedener Einstreu (Stroh, Torf und gemischter Einstreu aus Stroh und Torf) auf Beschaffenheit und Wirkung des Stallmistes.

Zur Prüfung der ersten Frage wurden in der Zeit vom 30. November 1936 bis 20. Januar 1937 auf nicht überdachten Düngerplatten drei Stapel aufgesetzt. Der erste Stapel blieb ohne Zugabe, beim zweiten wurden 5 % Erde, beim dritten 2,5 % Braunkohlenasche beigegeben. Das Aufschichten erfolgte in der Weise, daß der gesamte Tagesmistanfall aus dem Pferde-, Rinder- und Schweinestall (täglich etwa 1100—1400 kg) in dreitägigem Wechsel auf je einen der vorher genannten Stapel gebracht wurde. Nach dem Aufschichten wurde die Mistschicht festgetreten und danach die entsprechende Menge Erde bzw. Asche oben aufgestreut. Bei Abschluß der Stapelung enthielt jeder Stapel 20000 kg. Zur Verrottung blieben die Haufen dann bis 22. April 1937 liegen, worauf sie zu Feldversuchen ausgebracht wurden. Bei Abschluß waren in % des Ausgangsgewichts noch vorhanden:

bei gewöhnlichem Mist (ohne Zugabe)	72,9 %
bei Mist + 5 % Erde	74,2 %
bei Mist + 2,5 % Asche	77,8 %.

Während des Ausbringens wurden von jedem Stapel aus einer oberen, mittleren und unteren Schicht Mischproben von verschiedenen Stellen (durchschnittlich etwa 8) entnommen und zu chemischen und bakteriologischen Untersuchungen verwendet.

Zur Prüfung der Frage über die Wirkung verschiedener Einstreu wurden in der Zeit vom 21. Januar bis 26. Februar 1937 ebenfalls drei Stapel auf nicht überdachten Düngerplatten aufgesetzt. Verwendet wurde nur Rindermist. Die vorhandene Rinderzahl wurde in drei Abteilungen geteilt. Hiervon erhielt ein Drittel täglich 4 kg Stroh, ein Drittel 2 kg Stroh auf den Stand und 1 kg Torf auf die Jaucherinne und ein Drittel 2 kg Torf je Stück Großvieh als Einstreu. Die aufgesetzten Stapel wurden dann ebenfalls bis 22. April 1937 der Verrottung überlassen. Entsprechend der kurzen Lagerungsdauer war der Substanzverlust verhältnismäßig gering. Von dem Ausgangsmaterial waren beim Ausfahren vorhanden:

bei Strohmist	99,3 %
bei Stroh-Torfmist	89,8 %
bei Torfmist	83,9 %.

Die Probenahme erfolgte wie oben.

Der Schwund beim Strohmist erscheint dadurch so gering, daß dieser Mist während der Lagerung aus den Niederschlägen Wasser aufgenommen hat. Hierfür sprechen auch die weit geringeren Sickersaftmengen, die beim Strohmist erhalten wurden. Diese waren nämlich:

bei Strohmist	730 kg
bei Stroh-Torfmist	1600 kg
bei Torfmist	2620 kg.

Für unsere Untersuchungen wurden nur die aus der mittleren Schicht der verschiedenen Stapel gezogenen Proben verwendet. Ihre Trocknung und Mahlung erfolgte in derselben Weise wie bei den oben beschriebenen Proben.

Die von uns ermittelten Werte für Asche und organische Substanz zeigen naturgemäß gewisse Abweichungen gegenüber den von der Landesanstalt erhaltenen Werten, jedoch liegen sie innerhalb der bei solchen Untersuchungen zu erwartenden Fehlergrenzen.

Es ist natürlich denkbar, daß die Proben beim Trocknen gewisse Veränderungen, vor allem bezüglich der Löslichkeit in den verschiedenen Extraktionsmitteln, vielleicht sogar im Verhalten

gegen Azetylbromid erleiden. Ganz abgesehen davon, daß beispielsweise die Löslichkeit in Azetylbromid nicht an frischen Proben geprüft werden kann und die Durchführung verschiedener Untersuchungen an feuchten Proben auch sonst mit allerlei Schwierigkeiten verbunden ist, glauben wir, daß diese Veränderungen nicht so tiefgreifend sind, daß das Gesamtbild und der Vergleich der einzelnen Proben hierdurch gestört wird.

Wenn wir im folgenden die sechs verschiedenen Mistarten untereinander vergleichen, so darf nicht übersehen werden, daß nicht nur die Mistbereitung, sondern auch die Stapelungs- und vor allem die Lagerungsdauer bei beiden Reihen verschieden war.

Tabelle 6 zeigt uns zunächst, daß der Aschegehalt in der Trockensubstanz beim Strohmist am niedrigsten, in den Misten mit Zusätzen am höchsten ist. Auf Frischmist umgerechnet ergeben sich geringe Verschiebungen der Werte. Der Gehalt an organischer Substanz ist, auf Trockensubstanz bezogen, bei den Misten 4—6 am höchsten, auf Frischsubstanz umgerechnet steht jedoch Mist 3 an erster, Mist 4 an letzter Stelle, während die übrigen geringere Unterschiede aufweisen.

Auch im C_t-Gehalt ergeben sich infolge des verschiedenen Wassergehalts erhebliche Verschiebungen der Frischmistwerte gegenüber den Trockensubstanzwerten. Bei gleichen Gewichtsmengen enthält der frische Torfmist die geringste Menge, der Mist mit Aschezusatz die größte Menge an Gesamtkohlenstoff.

Was die nicht hydrolysierbaren Bestandteile, allgemein Lignin genannt, betrifft, so sind diese in den feuchten Misten 1—3 am stärksten vertreten, die Miste 4—6 enthalten geringere Mengen.

Es ist bekannt, daß das Lignin, soweit es beim Rotteprozeß eine weitgehende Umwandlung erfahren hat, als Huminsäure ein relativ beständiges Endglied des Humifizierungsvorganges darstellt; soweit es jedoch noch in der mehr oder weniger unveränderten Form des ursprünglichen Pflanzenbausteins vorliegt, muß mit tiefergreifenden chemischen und biologischen Veränderungen gerechnet werden, die vor allem bei weniger günstigen Reaktionsverhältnissen im Boden zu sauren Produkten (Ligninsäuren) führen, die nicht bloß infolge ihrer leichten Löslichkeit Verluste an organischer Substanz bedeuten, sondern auch wertvolle mineralische Bestandteile in den Untergrund mitführen können. Aus dieser Erwägung heraus ergibt sich ohne weiteres die Notwendigkeit, außer dem Lignin auch die Huminsäuren zu bestimmen. Daß auch diese einen verschiedenen „Reifegrad“ aufweisen, wurde schon auf Seite 107 dargelegt, ebenso, daß uns die kolorimetrischen Verfahren im allgemeinen Anhaltspunkte zur Beurteilung dieser Reife geben können.

Die Ergebnisse der frischen Proben zeigen nun, daß zunächst analog zu den Ligninwerten die Miste 1—3 wohl als die wertvolleren zu betrachten sind, da sie mehr als die andern unmittelbar zur Vermehrung des Humusvorrates geeignet sind; die Miste 4 und 6 kommen ihnen in dieser Hinsicht sehr nahe,

hingegen fällt der Strohmist gegenüber den übrigen deutlich ab, während er im Ligningehalt mit den Misten 4 und 6 bereits nahezu übereinstimmt.

Wir sehen weiter, daß der Anteil des Gesamtkohlenstoffs an der organischen Substanz in keiner engeren Beziehung zu deren Lignin- und Huminsäuregehalt steht. Die auf organische Substanz berechneten Ligninwerte liegen bei den Proben 1 und 2 erheblich höher als bei den Proben 3 und 4. Die niedrigsten Werte finden wir im Stroh- und Strohtorfmist. Anscheinend hat der Zusatz von Braunkohlenasche nicht bloß auf den Gesamtkohlenstoffgehalt der organischen Substanz sondern auch auf den Ligningehalt einen abbauenden Einfluß ausgeübt. Der niedrigere Ligningehalt des Torfmistes erklärt sich hauptsächlich aus dem an sich niedrigen Ligningehaltes des Torfes selbst. Im Strohmist ist die Zersetzung noch nicht weit vorangeschritten. Der ebenfalls ziemlich niedrige Ligningehalt des Strohtorfmistes wird damit gleichfalls verständlich.

Betrachten wir den mit Azetylbromid bestimmten sogenannten Zersetzungsgrad der verschiedenen Miste, so erscheint das Bild, vom Strohmist abgesehen, etwas ausgeglichener. Der Mist mit Erdezusatz stellt sich im diesem Falle am günstigsten; der Aschezusatz hat auch hier nicht günstig gewirkt. Die organische Substanz des Torfmistes weist wiederum einen günstigen Huminsäuregehalt auf. Im Strohmist ist die Huminsäurebildung noch erheblich zurückgeblieben, erscheint dagegen im Strohtorfmist wieder günstiger. Unter normalen Zersetzungsverhältnissen wurden also ähnliche Werte für den Z. G. erreicht, wie sie bereits früher von Siegel (4) und neuerdings von Scheffer und Zöberlein (6) für Stapelmist, Edelmist und Mist aus der Württemberger Dunglege erhalten wurden.

Bei den Misten 1, 2 und 5 haben wir vor der Azetylbromidbehandlung auch eine Vorbehandlung mit 2 %iger Salzsäure vorgenommen, wie bei den Standardproben im ersten Teil beschrieben.

Auch hier war nun der Rückgang des Z. G. bei den Proben 1 und 2 sehr erheblich; die Werte betrugen entsprechend nur mehr 18,7 bzw. 22,5. Im schlechter zersetzten Strohmist dagegen war der Rückgang viel geringer; Z. G. betrug noch 17,1. Diese Erscheinung entspricht also ganz der bei den früheren Standardproben beobachteten.

Die letzte senkrechte Reihe bringt noch die Werte für die „Humuskohle“, bei der es sich um hochkondensierte Huminsäuren häufig mit Übergangscharakter, z. T. auch um andere gegen chemische Lösungsmittel höchst widerstandsfähige Körper handelt. Ihre Bestimmung wurde mit der Prüfung der Frage verbunden, ob in den Misten auch eigentliche Grauhuminsäuren (Humusstoffe des Schwarzerdetypus) vorkommen.

Es wurde hierbei folgendermaßen verfahren:

2 g lufttrockener Mist wurden eine halbe Stunde bei zirka 50° mit 5 %iger HCl behandelt, an der Zentrifuge praktisch chlorfrei gewaschen, hierauf mit 100 ccm 5 %iger NaOH eine Stunde bei Siedehitze extrahiert und auf 250 ccm aufgefüllt. Nach Absitzen über Nacht wurde abgehebert und der Rückstand

Tabelle 6. Die wichtigsten

Nr.	Mistart	In % der Trockensubstanz						In
		Asche	Org. Substanz	Ct	Lignin	Huminsäure	Humuskohle	H_2O (105°)
1	Gewöhnlicher Stallmist	21,76	78,24	42,98	36,73	22,76	1,73	82,01
2	Mist + Erde	38,54	61,46	34,40	28,41	20,03	1,74	76,82
3	Mist + Asche	24,08	75,92	40,03	31,31	20,74	1,44	79,46
4	Torfmist	19,44	80,56	44,84	33,43	24,80	2,72	85,07
5	Strohmist	17,49	82,51	45,15	29,76	17,33	1,13	83,31
6	Strohtorfmist	18,26	81,74	44,38	30,97	22,29	1,18	83,09

Tabelle 7. Kolorimetrische „Huminsäure-

Nr.	„% Huminsäure" in der Trockensubstanz											„% Humin-	
	L	Sr L	Sr S		Fl				Sr Fl			L	Sr L
			ohne L-Zusatz	mit L	ohne L		mit L	ohne L		mit L			
					pH			pH					
1	6,47	7,33	5,08	5,64	8,9	3,88	3,97	6,3	1,29	1,90		1,16	1,32
2	5,14	5,46	3,57	3,86	8,6	3,15	3,24	6,6	1,01	1,26		1,10	1,27
3	4,61	5,78	4,07	4,56	9,1	3,98	3,98	6,2	1,20	1,67		0,95	1,19
4	10,17	10,83	7,96	8,84	7,5	4,11	4,30	6,6	1,99	3,10		1,52	1,62
5	5,46	5,79	4,37	4,81	7,8	2,57	2,71	6,6	1,26	1,53		0,91	0,96
6	7,62	8,38	5,85	6,61	8,0	3,58	3,89	6,6	1,54	2,55		1,29	1,42

Tabelle 8. Relativer Farbwert,

Nr.	Kolorimetrisch-oxydimetrischer Wert (R. F.)					
	L	SrL	SrS		Fl	SrFl
			ohne L	mit L		
1	0,15	0,17	0,17	0,19	0,25	0,30
2	0,14	0,17	0,17	0,19	0,25	0,31
3	0,12	0,15	0,16	0,18	0,24	0,26
4	0,22	0,25	0,25	0,28	0,29	0,38
5	0,12	0,14	0,16	0,18	0,17	0,22
6	0,16	0,23	0,20	0,23	0,29	0,37

an der Zentrifuge mehrmals mit 2%iger NaOH ausgewaschen, bis die „Braunhuminsäuren" völlig entfernt und die Lauge fast farblos war. Nunmehr wurde der Rückstand mit warmem Wasser gut durchgeschüttelt und wiederum zentrifugiert. Die Extrakte färbten sich hierbei in keinem Falle an, Grauhuminsäuren waren somit in keiner Probe in irgendwie nennenswerter Weise vorhanden (bei entsprechend größerer Einwaage würde man unter Umständen Spuren nachweisen können). Jetzt wurde durch den Goochtiegel filtriert, bei 60—70° C getrocknet, der Rückstand samt Asbest wie üblich mit Azetylbromid behandelt, durch Glasfiltertiegel 1a G2 filtriert, zuletzt mit heißem Wasser ausgewaschen, bei 105° getrocknet, gewogen und verascht. Gewichtsverlust = Humuskohle.

Nach unseren Versuchen ergibt die 5%ige Natronlauge etwas niedrigere Werte für Humuskohle als die 0,5%ige Lauge. In Prozenten der organischen Substanz ausgedrückt finden wir den niedrigsten Wert für Humuskohle im Strohmist, den höchsten im Torfmist; einen etwas größeren Wert weist auch der Mist mit

quantitativen Werte der Mistarten.

% der Frischsubstanz							In % der organ. Substanz			
Asche	Trocken-substanz	Org. Substanz	Ct	Lignin	Huminsäure	Humuskohle	Ct	Lignin	Huminsäure (Z. G.)	Humuskohle
3,92	17,99	14,07	7,73	6,61	4,09	0,311	54,94	47,0	29,1	2,21
8,93	23,18	14,25	7,97	6,58	4,64	0,403	55,97	46,2	32,6	2,83
4,95	20,54	15,59	8,22	6,43	4,26	0,296	52,72	41,2	27,3	1,90
2,90	14,93	12,03	6,69	4,99	3,70	0,406	55,65	41,5	30,8	3,38
2,92	16,69	13,77	7,54	4,97	2,89	0,189	54,72	36,1	21,0	1,37
3,09	16,91	13,82	7,51	5,24	3,77	0,199	54,30	37,9	27,3	1,45

prozente" und Humifizierungszahlen (H. Z.).

säure" in der Frischsubstanz						„% Huminsäure" in der org. Substanz (H. Z.)							
Sr S		Fl		Sr Fl		L	Sr L	Sr S		Fl		Sr Fl	
ohne L	mit L	ohne L	mit L	ohne L	mit L			ohne L	mit L	ohne L	mit L	ohne L	mit L
0,91	1,01	0,70	0,71	0,23	0,34	8,3	9,4	6,5	7,2	5,0	5,1	1,7	2,4
0,83	0,89	0,73	0,75	0,23	0,29	8,4	8,9	5,8	6,3	5,1	5,3	1,6	2,1
0,84	0,94	0,82	0,82	0,25	0,31	6,1	7,6	5,4	6,0	5,2	5,2	1,6	2,2
1,19	1,32	0,61	0,64	0,30	0,46	12,6	13,5	9,9	10,9	5,1	5,3	2,5	3,8
0,73	0,80	0,43	0,45	0,21	0,26	6,6	7,0	5,3	5,8	3,1	3,3	1,5	1,9
0,99	1,12	0,60	0,66	0,26	0,42	9,3	10,3	7,2	8,1	4,4	4,8	1,9	3,1

Farbquotient und SrL/L-Wert.

Farbquotient (F. Q., im alkalischen Medium bestimmt)					
L	SrL	SrS	Fl	SrFl	SrL/L
4,5	4,6	4,7	3,9	4,3	1,13
4,4	4,5	4,4	3,8	4,0	1,06
4,9	4,5	4,7	4,0	4,2	1,25
4,2	4,2	4,0	4,5	4,3	1,06
4,8	4,7	4,7	4,6	4,3	1,06
4,4	4,4	4,5	4,3	4,1	1,10

Erdezusatz auf. Im ganzen betrachtet sind ja die Anteile an Humuskohle, die in den Huminsäurewerten inbegriffen sind, recht gering, so daß sie im allgemeinen bei der Beurteilung der Stallmiste nicht besonders ins Gewicht fallen.

Die Tabelle 7 bringt die bei der Extraktion mit L, S, Fluorid, evtl. nach HCl-Behandlung, erhaltenen kolorimetrischen Werte. Die oxydimetrischen Werte sind nicht eigens aufgeführt, jedoch in der Tabelle 8 zur Bildung der Quotienten (R. F.) verwendet. Die vorliegenden Proben zeigen teilweise in stärkerem Maße wie die früher untersuchten eine mehr oder weniger ausgeprägte Bindung der Humusstoffe an die Erdalkalien, wie der Quotient SrL/L (Tab. 8) erkennen läßt. Der ganz geringe Farbanstieg bei Erhöhung der Laugekonzentration auf 1% vor der Messung wurde hierbei vernachlässigt. Besonders deutlich ist die Bindung

bei den Misten 1 und 3, einigermaßen auch noch bei 6. Während also der Zusatz von Erde keine nennenswerte Wirkung auf die Festlegung der Humusstoffe ausgeübt hat, haben die basischen Bestandteile der Braunkohlenasche eine starke Fesselung der Huminsäuren hervorgerufen. Diese Feststellung scheint uns in ihrer Bedeutung für sorptionsschwache Böden so wichtig, daß sie eine Nachprüfung notwendig erscheinen läßt.

Sowohl die „Prozente Huminsäure" im Frischmist wie auch die auf organische Substanz umgerechneten Werte (H. Z.) der L- und SrL-Extraktion, die ja alle überhaupt löslichen Humusstoffe erfaßt, liegen beim gewöhnlichen Stallmist und beim Mist mit Erdezusatz auf fast gleicher Höhe. Deutlich niedriger sind die Werte in dem mit Aschezusatz gewonnenen Mist; möglicherweise haben die basischen Bestandteile auf die Farbtiefe der Huminsäure vermindernd gewirkt. Die weitaus günstigste Humifizierung finden wir beim Torfmist, die geringste beim Strohmist, gute Werte weist auch der Strohtorfmist auf (H. Z. = ungefähres Mittel der beiden Werte).

Die SrS-Extraktion ergibt, wenn man die Proben nach der Größe ihrer H. Z. ordnet, die gleiche Reihenfolge wie die SrL-Extraktion bei etwas niedrigeren Werten infolge der schwächer lösenden Wirkung der Soda.

Die nicht angeführten S. Z. (SrL) lagen zwischen 43,9 und 55,3, ließen aber keine eindeutigen Beziehungen zu den übrigen Werten erkennen, so daß also offenbar durch die Mitlösung wenig zersetzter Produkte die durch den verschiedenen Gehalt an Humusstoffen gegebenen Unterschiede weitgehend verwischt wurden. Auch die entsprechenden oxydimetrischen SrS-Werte, die zwischen 32,4 (Strohmist), und 39,3 (Torfmist) lagen, korrespondierten nur z. T. mit den kolorimetrischen Werten.

Zwischen den kolorimetrischen S- und L-Werten einerseits und den durch unmittelbare Extraktion mit Fluorid erhaltenen Werten andererseits besteht keine Parallelität. Lediglich der Wert des Strohmistes ist auch im Fluoridauszug der niedrigste. Man hätte wenigstens erwartet, daß der Wert des Torfmistes deutlich über den übrigen Werten liegen würde (vgl. vor allem die H. Z.). Daß die Ursache in dem relativ niedrigen pH-Wert (7,5) des Extraktes liegt, ist nach unseren im ersten Teil niedergelegten Erfahrungen bereits als erwiesen zu erachten und wird durch folgenden Versuch bestätigt: Wurde das Lösungsmittel (100 ccm 1%ige NaF-Lösung) vor der Extraktion mit 2 ccm n/10 NaOH versetzt, so stieg der pH-Wert im Extrakt auf 8,3, der kolorimetrische Wert in der Trockensubstanz auf 4,96%, bzw. nach Laugezusatz auf 5,13%, entsprechend einer H. Z. von 6,2 bzw. von 6,4. Die Notwendigkeit der Forderung, die Fluoridextraktion bei gleichen pH-Werten durchzuführen, wird durch dieses Beispiel klar aufgezeigt.

Vorbehandlung mit Salzsäure senkte wie früher die Fluoridwerte sehr stark, doch treten nunmehr die bei der alkalischen

Extraktion gefundenen Unterschiede deutlicher heraus und die Werte zeigen weitgehende Parallelität (wie die früheren Beispiele der Tabelle 4 erkennen lassen, braucht aber letztere nicht immer zu bestehen). Selbstredend wird auch hier bei den erzielten pH-Werten nur ein Bruchteil der vorhandenen Humusstoffe erfaßt, so daß eben keine Gewähr dafür gegeben ist, daß auf diese Weise ein wirklichkeitsgetreues Bild der Gesamthumifizierung erhalten wird.

Die in Tabelle 7 nicht aufgeführten oxydimetrischen Werte bzw. S. Z. der Fluoridextraktion waren, besonders nach Säurevorbehandlung, wiederum erheblich niedriger als die entsprechenden S- und L-Werte. Zwar gab im NaF- wie im SrS-Auszug der Strohmist die niedrigste S. Z. (15,2), die höchste S. Z. zeigte aber nicht der Torfmist (18,4), wie erwartet, sondern der Mist mit Aschezusatz (21,8). Nach Säurevorbehandlung war die S. Z. des Strohmistes (8,5) eher höher als die der übrigen Proben (8,2—8,4), der Torfmist ausgenommen, der jetzt die höchste S. Z. (9,9) aufwies. Wir sehen hierin eine Bestätigung unserer früheren Annahme, daß auch durch Fluorid zum mindesten Humusvorstufen, wenn nicht auch andere nichthumifizierte Stoffe mitgelöst werden können. Zum gleichen Ergebnis kam neuerdings auch Siegel (18).

Aus der Tatsache, daß durch alle peptisierend wirkenden Mittel aus schlecht verrotteten Materialien relativ reichlich Humoligninsäuren und anscheinend selbst farblose Körper in Lösung gebracht werden, wird verständlich, daß solche Substanzen auch sehr niedrige R. F.-Werte ergeben. Der höhere Permanganatverbrauch der Ligninsäure gegenüber der Huminsäure wirkt sich im gleichen Sinn aus.

Aus Tabelle 8 ist in Übereinstimmung mit den früheren Werten der Tabelle 5 ersichtlich, daß die höchsten Quotienten, also relativ reine Humusextrakte, in den nach Säurevorbehandlung erhaltenen Fluoridauszügen vorliegen. Wie man sieht, weist der Strohmist den niedrigsten R. F.-Wert, der Torfmist und Strohtorfmist die höchsten Werte auf. Der Mist mit Aschezusatz läßt gegenüber den Misten 1 und 2, ähnlich wie die H. Z., einen deutlichen Abfall erkennen. Wenn also auch hier die R.-F-Werte in den gut humifizierten Misten höher sind als in den weniger verrotteten, so kann aus diesen Werten gleichwohl die Gesamthumifizierung nicht mit Sicherheit beurteilt werden, wie bereits bei Besprechung der entsprechenden früheren Ergebnisse festgestellt wurde Gegen die Auswertung der direkten NaF-Werte haben wir bereits zur Vorsicht gemahnt. Bei den S- und L-Werten macht sich hier in höherem Grade als bei den Proben der Tabelle 5 die Erscheinung bemerkbar, daß durch die Alkalien nicht oder mangelhaft humifizierte Stoffe in verstärktem Maße mitgelöst werden, so daß die Unterschiede der Proben 3 und 5 nicht mehr hervortreten. Andererseits lassen die R. F.-Werte der alkalischen Extrakte in Übereinstimmung mit den H. Z., jedoch im Gegensatz zu den R. F.-Werten der Fluoridextrakte, die Humifizierungsunterschiede der Proben 4 und 6 deutlich erkennen.

Die im stark alkalischen Medium gemessenen Farbquotienten (F. Q.) (Tabelle 8) zeigen bei den ersten drei Misten keine deutlichen Unterschiede, woraus folgt, daß der Farbton der jeweils gelösten Humusstoffe ungefähr der gleiche ist, letztere somit dem gleichen Farbtyp angehören. Die F. Q.-Werte des Torfmistes liegen wenigstens bei den alkalischen Extrakten durchweg niedriger, jene des Strohmistes gleichmäßig höher. Da diese beiden Proben auch in der Farbtiefe bzw. in der H. Z. und im R. F. von den übrigen deutlich abweichen, so ersieht man, daß mit der Änderung der Farbtiefe auch eine Änderung des Farbtons einhergeht. Die Werte der Fluoridauszüge sind nicht ganz eindeutig.

Im ganzen gesehen scheinen bei den angewandten Lösungsmitteln gewisse Komplikationen aufzutreten (mangelhafte Lösung bei Anwendung von Fluorid, Umwandlungsvorgänge bei Anwendung von Alkali), so daß bei Stallmistextrakten eine fehlerfreie Auswertung von F. Q. noch nicht in allen Fällen gewährleistet ist.

Der Stickstoff der verschiedenen Mistarten.

Obwohl vorauszusehen war, daß bei der Trocknung der Miste Stickstoffverluste auftreten können, erschien es doch wertvoll, über die Verteilung des Stickstoffs auf die verschiedenen Fraktionen, wie sie bei der Stoffgruppenanalyse erhalten werden, Näheres zu erfahren.

Zur Bestimmung des wasserlöslichen N wurden 10 g Substanz mit 500 ccm Wasser eine Stunde an der Maschine geschüttelt, über Nacht absitzen gelassen, durch ein Faltenfilter dekantiert und das noch trübe Filtrat bis zur völligen Klärung zentrifugiert. 200 ccm der Lösung wurden zur Bestimmung des N nach Kjeldahl verwendet, weitere 200 ccm zur Bestimmung der gelösten organischen Substanz und der Rest zur kolorimetrischen Bestimmung der gelösten Stoffe (siehe später).

Der mittels 2%iger HCl sowie durch 80%ige H_2SO_4 hydrolysierbare N wurde in bekannter Weise ermittelt. Die Differenz der beiden Werte ergab den nur in H_2SO_4 löslichen N. Der nur in HCl lösliche N wurde durch Subtraktion des wasserlöslichen N vom HCl-löslichen erhalten. Der nichthydrolysierbare N wurde als Differenz vom Gesamt-N und hydrolysierbaren N errechnet. (Tabelle 9.)

Tabelle 9.

C/N-Verhältnis und Löslichkeit des N in % des Gesamt-N.

Nr.	Mistart	% Gesamt-N in der Trocken-Substanz	C/N	H_2O-löslich	HCl-löslich	H_2SO_4-löslich	Unlöslich
1	Gew. Stallmist	2,53	17,0	9,2	42,6	5,5	42,7
2	Mist + Erde	1,80	19,1	10,2	47,9	4,0	37,9
3	Mist + Asche	1,85	21,7	9,6	48,8	11,3	30,3
4	Torfmist	2,11	21,3	15,2	42,6	8,1	34,1
5	Strohmist	1,95	23,1	12,4	42,5	12,3	32,8
6	Strohtorfmist	1,89	23,5	13,5	39,4	13,2	33,9

Ein Vergleich der Gesamtstickstoffwerte mit den von der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in der Frischsubstanz durchgeführten Bestimmungen ergab, daß unsere Werte der Proben Nr. 1, 2, 3 und 6 um 0,2—0,3% niedriger waren.

Probe 5 zeigte kaum einen Unterschied. Die stärkste Differenz trat beim Torfmist auf (2,76 % gegen 2,11 %), der auch den weitaus höchsten Gehalt an leicht abspaltbarem Stickstoff aufwies (0,84 % der Trockensubstanz). Hiernach sind auch unsere C/N-Werte, der Strohmist ausgenommen, etwas zu hoch. Gleichwohl liegen die Werte so, daß sie auf eine normale Verrottung schließen lassen; selbst der weniger gut zersetzte Strohmist weist noch einen Quotienten von 23,1 auf.

Der wasserlösliche Stickstoff ist in den ersten drei Mistarten zu ungefähr gleichem Anteil vorhanden; in den übrigen Proben, vor allem im Torfmist, erreicht er höhere Beträge. Bemerkenswert ist, daß die Menge des salzsäurelöslichen Stickstoffs, der noch als leicht mineralisierbar zu betrachten ist, durch den Zusatz von Erde und Asche gestiegen ist. Der durch Schwefelsäure hydrolysierbare Stickstoff weist erhebliche Schwankungen auf. Der unlösliche, schwer mineralisierbare Stickstoff ist am stärksten in den beiden ersten Mistarten vertreten.

Die Pufferung und Wasserlöslichkeit der Mistarten.

Zur Bestimmung der Pufferung wurde die je 1 g Trockensubstanz entsprechende Menge mit 50 ccm Wasser bzw. steigenden Mengen n/10 HCl versetzt und zwei Stunden lang an der Maschine geschüttelt. Die pH-Werte wurden nach der Chinhydronmethode festgestellt. Von einer Bestimmung in der Frischsubstanz, die natürlich vorzuziehen wäre, mußte aus technischen Gründen abgesehen werden (Tabelle 10).

Wie man sieht, liegen die pH-Werte der wässerigen Auszüge meist etwas über 8,0. Bei einer Konzentration der Salzsäure von n/100 wird in allen Suspensionen annähernd der Neutralpunkt erreicht. Erst bei weiterer Säurezugabe tritt eine Differenzierung in der Wasserstoffionenkonzentration ein. Wie zu erwarten war,

Tabelle 10.

Die Pufferung der Mistarten.

		pH-Werte nach dem Ausschütteln mit				
Nr.	ccm n/10 HCl ccm H_2O Normalität	0 50 0	5 45 n/100	10 40 n/50	15 35 n/33	20 30 n/25
1	Gew. Stallmist	8,4	7,[illegible]5	5,95	4,4	2,8
2	Mist + Erde	8,0	6,7	5,4	3,3	2,3
3	Mist + Asche	8,1	7,2	6,6	6,3	5,6
4	Torfmist	8,2	7,1	5,5	3,9	2,6
5	Strohmist	8,1	6,75	5,0	2,9	2,2
6	Strohtorfmist	8,4	6,8	5,3	3,6	2,3

zeigt die stärkste Pufferung der Mist mit Aschezusatz, da ja die Asche reichlich basische Bestandteile enthält. Eine gute Pufferung finden wir auch beim Gew. Stallmist, es folgt der Torfmist, der Strohtorfmist und der Mist mit Erdezusatz. Die Beimengung von Erde hat also im Gegensatz zur Asche keine erkennbare Wirkung ausgeübt. Die schwächste Pufferung weist der Strohmist auf.

Schließlich wurde auch der wasserlösliche Anteil der organischen Substanz bestimmt (s. Tabelle 11). Auch in diesem Falle wäre die Untersuchung am frischen Material vorzuziehen; von einer Umrechnung der Werte auf Frischsubstanz wurde im Hinblick auf die beim Trocknen möglicherweise eingetretenen Veränderungen abgesehen.

Während die erste Zahlenreihe die auf gravimetrischem Wege durch Eindampfen des wässerigen Auszuges und Veraschen des Rückstandes gefundenen Werte in Prozenten der organischen Substanz wiedergibt, bringen die folgenden Reihen die kolorimetrischen Huminsäurewerte in Prozenten der gesamten organischen Substanz, des wasserlöslichen organischen Anteils und der laugelöslichen (SrL) Stoffe.

Tabelle 11.

Die Wasserlöslichkeit der organischen Substanz.

Mistart	H_2O-lösliche organische Substanz in % der organischen Substanz	% „wasserlösliche Huminsäuren" (kolor.) in der organ. Substanz	im H_2O-löslichen Anteil	im L-löslichen Anteil
Gew. Stallmist	5,92	1,06	17,9	11,3
Mist + Erde	5,76	0,86	14,9	9,6
Mist + Asche	4,63	0,49	10,6	6,4
Torfmist	7,37	0,95	12,9	7,0
Strohmist	6,43	0,60	9,3	8,6
Strohtorfmist	6,69	1,08	16,1	10,5

Die größte Gewichtsmenge an wasserlöslichen Stoffen, berechnet auf die organische Substanz, weist demnach der Torfmist mit 7,37%, auf, die geringste Menge der Mist mit Aschezusatz, was sich aus der Festlegung der Humusstoffe durch die Basen der Kohlenasche erklärt. Der Mist + Erde zeigt gegenüber dem gewöhnlichen Mist kaum einen Unterschied. Aus der dritten Reihe ersehen wir, daß die Farbtiefe der gelösten Stoffe nicht parallel ihrer Menge geht, denn die stärkste Intensität finden wir nicht bei den Stoffen des Torfmistes, sondern bei denen des Gew. Mistes, worauf der Strohtorfmist und der Mist mit Erde folgt. Die schwächste Humifizierung der löslichen Stoffe zeigen erwartungsgemäß der Strohmist und der Mist mit Aschezusatz. Im letzteren Falle werden also durch die Aschebestandteile in erster Linie die färbenden Substanzen zurückgehalten, die eigentlichen Humusstoffe scheinen somit vor Auswaschung weitgehend geschützt. Wenn nun auch (s. zweite Reihe) die gesamte organische Substanz der Miste nur zu einem sehr geringen Betrag aus wasserlöslichen Huminsäuren besteht, so sehen wir doch (vierte Reihe), daß der Anteil der löslichen Huminsäuren an den maximal (SrL) löslichen Humusstoffen beträchtlich ist, nämlich 6,4% (Mist + Asche) bis 11,3% (Gew. Mist). Die Gefahr der Auswaschung gerade der wertvollen eigentlichen Humusstoffe ist daher sehr zu beachten. Sie erscheint auch hier beim Mist mit Aschezusatz am geringsten. Dieser zeigte auch den höchsten Quotienten SrL L, im übrigen sind aber keine Beziehungen zwi-

schen diesem Verhältniswert und der Wasserlöslichkeit der Humusstoffe erkennbar. In diesem Zusammenhang verdient noch die Frage Beachtung, ob, wie B. Niklewski (21) meint, die wasserlöslichen Humusstoffe im Solzustand eine besonders günstige, auf das Pflanzenwachstum stimulierende Wirkung ausüben, so daß hierdurch die Stoffverluste bis zu einem gewissen Grade wieder ausgeglichen würden.

In der vorliegenden Arbeit wurden nicht alle Möglichkeiten zur Charakterisierung des Stallmistes erschöpft. So ist anzunehmen, daß der mit dem Abbau der Humusstoffe in alkalischer Lösung verbundene Farbrückgang ein brauchbares Kriterium für die Stabilität der Humusstoffe des Stallmistes darstellt. Über diesbezügliche Ergebnisse bei Humusdüngemitteln wurde seinerzeit berichtet. H. Glathe (22) trennt neuerdings die organische Substanz des Stallmistes mittels Wasserstoffperoxyd in zwei Stoffgruppen. Hierbei handelt es sich nicht um eine eigentliche Humusbestimmungsmethode, da Wasserstoffperoxyd außer den Huminsäuren auch Lignin und selbst Zellulose, soweit sie in feiner Verteilung vorliegt, angreift. Es ist jedoch anzunehmen, daß intakte Pflanzenstoffe durch H_2O_2 relativ wenig oxydiert also hauptsächlich die im Zustand der Verrottung befindlichen Stoffe erfaßt werden und somit Anhaltspunkte für den Rottegrad erhalten werden können.

Zusammenfassung*).

Es wurden zunächst die Fehlerquellen erörtert, die bei der quantitativen Bestimmung der Stoffgruppen (nach Waksman) und des Zersetzungsgrades (nach Springer) in Stallmistproben auftreten.

Die besonders eingehende Prüfung der für kolorimetrische Bestimmungen in Frage kommenden Extraktionsverfahren zeigte zunächst, daß die Extraktion mit den sogenannten Neutralsalzen (Simon) nur einen Teil der gefärbten Stoffe erfaßt. Hierbei ist der pH-Wert des Extraktionsmediums von bestimmendem Einfluß auf die Menge (Farbtiefe) und den Charakter (Farbtyp) der gelösten Stoffe, so daß schon relativ geringe Unterschiede in der Wasserstoffionenkonzentration, wie sie bei der unmittelbaren oder bei der nach erfolgter Entbasung des Humuskomplexes durchgeführten Extraktion mit Natrium- Fluorid oder Oxalat erhalten werden, zu erheblichen Differenzen in den Farbwerten führen können. Kolorimetrische Werte sind daher für den Vergleich und die Beurteilung von Stallmistproben nur dann brauchbar, wenn bei gleicher Wasserstoffionenkonzentration extrahiert wird und die Messung selbst ebenso bei stets gleicher Reaktion der Lösung erfolgt.

Weit wirksamer ist die Extraktion mit alkalischen Lösungsmitteln 'und praktisch vollständig mit heißer 0,5%iger Natronlauge (evtl. nach Säurebehandlung), welche die Humusstoffe bis auf einen geringen Rest von „Humuskohle" erfaßt. Da die alkalische Extraktion unter bestimmten Normalbedingungen bei verschiedenen Mistarten nur sehr geringe Unterschiede in den pH-Werten ergibt, so ist ein Vergleich der Farbwerte ohne weiteres statthaft. Die hierbei mögliche Umwandlung nichthumifizierter

*) An dieser Stelle sei noch Herrn Regierungsrat J. Weigert und Dr. F. Fürst für die überlassenen Stallmistproben sowie dem Forschungsdienst und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die zur Verfügung gestellten Mittel bestens gedankt.

Stoffe in färbende Produkte scheint nicht so störend zu wirken, daß die Auswertung der Ergebnisse zu Fehlschlüssen führt.

Wie die Untersuchung einer am Rande eines Miststapels entnommenen Probe, die bei einem hohen Zersetzungsgrad (Z. G.) und sehr engen C/N-Verhältnis relativ niedrige Humifizierungszahlen (H. Z.) und Relative Farbwerte (R. F.) aufwies, zeigte, ist ein guter Zersetzungszustand (weitgehende Umwandlung in Humusstoffe) nicht immer mit einer guten Humifizierung (hohe Farbtiefe) verbunden. Hieraus folgt, daß eine Beurteilung des Stalldüngers mit kolorimetrischen Methoden allein nicht angängig ist, sondern daß hierzu unbedingt quantitative Verfahren, wie die Azetylbromidmethode, evtl. in Verbindung mit der Stoffgruppenanalyse, heranzuziehen sind. Ein weiterer Ausbau der quantitativen Untersuchungsmethodik erscheint daher erwünscht.

Schließlich wurden einige mit bestimmten Zusätzen und verschiedener Einstreu hergestellte Mistsorten nach den angegebenen Verfahren eingehend untersucht.

Schrifttum:

1. Springer, U.: Zur Kenntnis einiger bekannter Handelshumusdüngemittel, ein Beitrag zu ihrer Beurteilung und Bewertung. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **3**, 1937, 139—188.
2. Derselbe: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. Ebenda, **6**, 1938, 312—373.
3. Simon, K.: Die charakteristischen Humusstoffe, ihre Beurteilung und ihre Bedeutung im Stalldünger. Ebenda, **1**, 1936, 257—301.
4. Siegel, O.: Experimentelle Grundlagen zur zweckmäßigsten Stallmistbereitung unter bäuerlichen Verhältnissen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **43**, 1936, 186—220.
5. Simon, K.: Studien zur Humusschaffung aus Stallmist. Ebenda, A, **40**, 1935, 178—189.
6. Scheffer, F., u. H. Zöberlein: Untersuchungen über die zweckmäßigste Gewinnung und Behandlung des Stallmistes auf der Dungstätte. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **5**, 1937, 47—80.
7. Hilpert, R. S., u. E. Littmann: Über die Verharzung der Zucker durch Säuren und ihre Beziehung zur Ligninbestimmung. Ber. dtsch. chem. Ges., **67**, 1934, 1551.
8. Normann, A. G., u. S. H. Jenkins: Die Bestimmung von Lignin. Ref. Chem. Centralbl. 1935, I, 2372.
9. Springer, U.: Zur Kenntnis der Bindungsformen der Humusstoffe, besonders in Waldböden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **45**, 1936, 327—352.
10. Derselbe: Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Ebenda, A, **22**, 1931, 135—151.
11. Souci, S. W.: Die Chemie des Moores. Enke-Verlag, Stuttgart. 1938.
12. Simon, K.: Über die Herstellung von Humusextrakten mit neutralen Mitteln. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **14**, 1929, 252—257.
13. Hock, A.: Farbtiefen- und Farbtonwerte als charakteristische Kennzeichen für Humusform und Humustyp in Böden nach neuen Verfahren. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **2**, 1937, 304—318.
14. Derselbe: Weitere Untersuchungen zur Humuscharakterisierung im Boden. Ebenda, **5**, 1937, 1—24.

15. Derselbe: Beziehungen zwischen Konzentration und Farbwerten von Huminsäurelösungen. Ebenda, **7**, 1938, 99—117.
16. Pozdena, L.: Untersuchungen über den Aufbau der organischen Komponente von Humusböden unter besonderer Berücksichtigung kolorimetrischer Methoden. Ebenda, **2**, 1936/37, 55—73.
17. Derselbe: Über kolorimetrische Humusuntersuchung und Humusbestimmung. Ebenda, **3**, 1937, 1—20.
18. Siegel, O.: Die Bestimmung der humifizierten Substanz im Stallmist. Vorträge und Berichte d. Tagung d. Landw.-Chemie in Frankfurt a. M. 1937. Fortschritte d. landw.-chem. Forschung. Verlag Neumann-Neudamm 1938.
19. Simon, K.: Beiträge zur unterscheidenden Charakterisierung von Huminsäuren und alkalilöslichen Ligninen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **27**, 1932, 129—143, siehe auch Nr. 11.
20. Waksman, S. A., and H. W. Reuszer: On the origin of the uronic acids in the humus of soil, peat, and composts. Soil Sci., **33**, 1932, 135—151.
21. Niklewski, B. u. J. Wojciechowski: Über den Einfluß der wasserlöslichen Humusstoffe auf die Entwicklung einiger Kulturpflanzen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **4**, 1937, 294—327.
22. Glathe, H., u. O. v. Metzen: Vergleichende Stalldungerlagerungsversuche II. Ebenda, **5**, 1937, 192—208.
Ferner: Glathe, H.: Biologie der bei den Lagerungsversuchen in Pommritz erzeugten Stalldüngersorten. Ebenda, **7**, 1938, 117—128.

[207]

Zur Kenntnis der Phosphate I: Über Hydroxylapatit.

Von **Werner Rathje.**

(Aus dem Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin.)

Eingegangen: 7. November 1938.

Die Fällungsbedingungen der sauren Kalziumphosphate $Ca(H_2PO_4)_2$ und $CaHPO_4$ und ihrer Hydrate aus wässerigen Lösungen sind in der Literatur mehrfach übereinstimmend beschrieben, während die Reindarstellung der aus neutralen Lösungen ausgefällten Kalziumphosphate sich sehr schwierig gestaltete. Wegen der hohen Absorptionsfähigkeit werden je nach Konzentration, Temperatur und Säuregrad Niederschläge verschiedener Zusammensetzung erhalten, die durch Bestimmung des Kalzium- und Phosphorsäuregehaltes nur unsicher festgestellt werden kann, da die Genauigkeit der quantitativen Analyse hierzu nicht ausreicht. So wurde allgemein angenommen, daß der Hauptbestandteil der bei neutraler Reaktion ausfallenden Kalziumphosphate die einfachste mögliche Formel $Ca_3(PO_4)_2$ besitzt.

Einen Fortschritt bedeutete es, als durch A. Schleede, W. Schmidt und H. Kindt (1) ausgefällte Phosphate, Thermophosphate und Silikophosphate einer weitgehenden Hydrolyse durch Behandlung mit großen Mengen Wasser unterworfen wurden. Durch röntgenographische Untersuchung der Hydrolysenprodukte konnte nachgewiesen werden, daß alle Kalziumphosphate durch genügend lange Hydrolyse in Hydroxylapatit der Formel $3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$ umgewandelt werden, der ein definiertes Röntgendiagramm besitzt. Dieses „basische Salz“ stellt das im

Gleichgewicht mit Wasser einzig beständige Kalziumphosphat dar[1]). Eine Verbindung „Trikalziumphosphat" der Formel $Ca_3(PO_4)_2$ ist in Gegenwart von Wasser nicht existenzfähig[2]). Dies erklärt die Tatsache, daß die natürlichen Vorkommen des Kalziumphosphates, auch die Phosphorite, entgegen den Angaben der Lehrbücher ausschließlich Apatitstruktur besitzen.

Diese wichtigen Erkenntnisse waren der Röntgenographie vorbehalten, während die rein chemische Untersuchungsmethodik wegen der hohen Absorptionsfähigkeit und leichten Umwandlung der Kalziumphosphate zu unrichtigen Ergebnissen führte. Dies kann dazu beigetragen haben, daß die Reaktions- und Lösungsgleichgewichte der Kalziumphosphate nur unvollkommen geklärt werden konnten. Ihre Kenntnis ist jedoch für Fragen der Phosphatumsetzung in Düngemitteln und Böden von großer Bedeutung, wobei gerade die hohe Absorptionsfähigkeit und leichte Umwandlungsmöglichkeit der Kalziumphosphate wichtig sein dürfte. Wenn die hierdurch bedingten Schwierigkeiten der chemischen Untersuchungsmethodik überwunden werden können, ist daher eine weitgehende Klärung der Löslichkeitsverhältnisse zu erwarten.

In vorliegender Arbeit soll versucht werden, auf chemischem Wege einen Beitrag zur Kenntnis der Kalziumphosphate, insbesondere des Hydroxylapatits zu liefern, wobei die von A. Schleede, W. Schmidt und H. Kindt durch Röntgenographie aufgefundenen Verhältnisse als Richtlinien dienen.

1. Hydrolyse von „Trikalziumphosphaten".

Das durch Fällung aus wässerigen Lösungen dargestellte und im Handel befindliche „Trikalziumphosphat" besitzt nach röntgenographischen Untersuchungen nicht die Formel $Ca_3(PO_4)_2$, sondern stellt ein Gemisch von Hydroxylapatit und Dikalziumphosphat dar. Das Mengenverhältnis dieser beiden Stoffe kann auch durch sehr sorgfältige quantitative Bestimmungen des Gesamt-Kalzium- und Phosphorsäuregehaltes wegen der Ungenauigkeit der quantitativen Analyse nur unsicher bestimmt werden.

Oft ist nahezu soviel Dikalziumphosphat an Hydroxylapatit absorbiert, daß sehr genaue quantitative Bestimmungen die Bruttozusammensetzung $CaO : P_2O_5 = 3 : 1$ ergaben. Wurden bei der Analyse von „Trikalziumphosphaten" mit anderem Dikalziumphosphatgehalt Abweichungen von diesem Verhältnis gefunden, so wurden diese durch Unsicherheiten der schwierigen, genauen

[1]) Das in den beiden OH-Gruppen enthaltene Wasser ist im Kristall sehr fest gebunden und wird erst beim Schmelzpunkt des Hydroxylapatit, bei etwa 1500°, frei.

[2]) Trikalziumphosphat von einheitlicher Zusammensetzung, das durch ein besonderes Röntgendiagramm gekennzeichnet ist, kann nur durch Sintern oder Schmelzen bei hoher Temperatur erhalten werden und wird schon bei 1000° durch Wasser ebenfalls in Hydroxylapatit umgewandelt.

Kalzium- und Phosphatanalyse erklärt, und die einfachste mögliche Formel $Ca_3(PO_4)_2$ als bewiesen betrachtet.

Die im „Trikalziumphosphat“ enthaltene Menge Dikalziumphosphat kann auf anderem Wege leicht dadurch bestimmt werden, daß das Gemisch einer Hydrolyse unterworfen wird. Hierbei wird Dikalziumphosphat unter Freiwerden von Phosphorsäure nach Gl. 1 umgewandelt, die in dem zur Hydrolyse benutzten Wasser bestimmt werden kann, und ein Maß für den Gehalt an Dikalziumphosphat bildet.

(1) $10\,CaHPO_4 + 2H_2O = 3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2 + 4H_3PO_4$.

Mit der in Abb. 1 dargestellten Vorrichtung läßt sich die

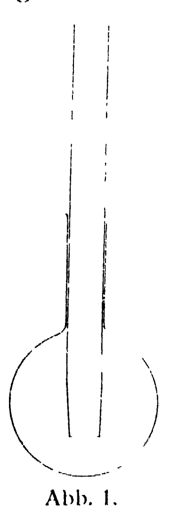


Abb. 1.

Hydrolyse der ausgefällten „Trikalziumphosphate“ und gleichzeitig eine Konzentrierung der freigewordenen Phosphorsäure erreichen.

Die zu untersuchenden Phosphate in einer Menge von 1,000 g befinden sich in einer Glasfritte, an die ein Glasrohr von etwa 80 cm Länge angeschmolzen ist, in dessen unteren Teil etwa 10 cm vom Frittenboden entfernt, sich ein Loch von etwa 1 cm Durchmesser befindet. Ein Kolben umschließt mit seinem Hals möglichst dicht das Glasrohr. Wird das im Kolben befindliche Wasser zum Sieden erhitzt, so gelangt der Wasserdampf durch das Loch in das Glasrohr und wird hier zu Wasser kondensiert. Dieses fließt durch das Phosphat und die Fritte zurück in den Kolben und löst dabei Phosphorsäure heraus. Da sich die Fritte einige Millimeter über der Oberfläche des siedenden Wassers befindet, und das aus dem Glasrohr zurückfließende Wasser im unteren Teil des Rohres ebenfalls erwärmt wird, kann eine intensive Hydrolyse stattfinden. Ist der Zwischenraum zwischen Glasrohr und Kolbenhals genügend eng, so bildet sich hier eine Wasserhaut, die ein Verdampfen von Wasser nach außen verhindert.

In dem zum Sieden erhitzten Wasser sammelte sich die Phosphorsäure an und ließ einen zugesetzten Indikator (Bromthymolblau) nach sauer umschlagen. Durch tropfenweises Zufügen von Natronlauge wurde die Reaktion dauernd neutral gehalten. Nachdem mit kleiner Flamme drei Tage lang zum Sieden erhitzt worden war, war kein Sauerwerden mehr zu bemerken, und die Umsetzung konnte als beendet angesehen werden. Eine geringe Trübung, die durch in Lösung gegangenes Kalziumphosphat entstanden sein dürfte, wurde durch Filtration durch die Fritte entfernt. Nach einer Woche wurde die Hydrolyse beendet. Die untersuchten Phosphatniederschläge waren durch sorgfältige Bestimmung des Kalzium- und Phosphorsäuregehaltes auf ihr $CaO:P_2O_5$-Verhältnis untersucht. Dieses, sowie die bei ihrer Hydrolyse freigewordene und im Wasser angesammelte Phosphorsäure sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1. Hydrolyse von ausgefällten Kalziumphosphaten.

Nr.	Art des Niederschlages	Gehalt in % an CaO	Gehalt in % an P_2O_5	$CaO \cdot P_2O_5$	Aus dem $CaO:P_2O_5$-Verhältnis errechnete Gehalt an Dikalziumphosphat %	Bei der Hydrolyse freigewordene P_2O_5 mg
1	Reines Dikalziumphosphat ($CaHPO_4 \cdot 2H_2O$) . .	32,4	41,1	2,01 : 1	~ 100	161
2	„Trikalziumphosphat" (Merck 1935) . . , .	52,9	45,0	2,98 : 1	26	40
3	„Trikalziumphosphat" (Merck 1937)	54,0	44,5	3,07 : 1	20	35
4	„Trikalziumphosphat" (Kahlbaum, 1929) . .	50,5	39,6	3,23 : 1	8	12
5	„Trikalziumphosphat" (Kahlbaum, 1938) . .	51,3	40,5	3,20 . 1	10	15
6	Hydroxylapatit	51,0	38,8	3,33 · 1	0	1

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß aus dem in Versuch 1 zur Hydrolyse benutzten, reinen Dikalziumphosphat unter Bildung von Hydroxylapatit fast die gesamte nach Gl. 1 zu erwartende Menge Phosphorsäure freigeworden ist. Die untersuchten „Trikalziumphosphate" der Firma Merck aus den Jahren 1935 und 1937 enthalten, wie man aus dem $CaO:P_2O_5$-Verhältnis und deutlicher aus der bei der Hydrolyse freigewordenen Menge Phosphorsäure erkennt, mehr Dikalziumphosphat als die „Trikalziumphosphate" der Firma Schering-Kahlbaum aus den Jahren 1929 und 1938. Wie weiterhin aus der Tabelle hervorgeht, schwankt die absorbierte Menge Dikalziumphosphat von Lieferung zu Lieferung. Versuch 6 zeigt, daß aus reinem Hydroxylapatit, der nach einem unten beschriebenen Verfahren hergestellt ist, fast keine Phosphorsäure frei wird. Dieser stellt also das Endhydrolysenprodukt der Kalziumphosphate dar.

Die auf diese Art erfolgte Hydrolyse der ausgefällten „Trikalziumphosphate" gestattet also, in einfacher Weise die in ihnen enthaltene Menge Dikalziumphosphat zu bestimmen und die Bedingungen festzulegen für die im folgenden beschriebenen Reindarstellungen des Hydroxylapatits.

2. Darstellung von Hydroxylapatit.

Das Entstehen von freier Phosphorsäure bei der Bildung von Hydroxylapatit aus Dikalziumphosphat führt zu einem Gleichgewicht (Gl. 1), das in Richtung der Entstehung von Hydroxylapatit verschoben werden kann, wenn wie oben das zur Hydrolyse benutzte Wasser ständig erneuert wird. Zur Darstellung des Hydroxylapatits ist dieses Verfahren umständlich und führt nur langsam zu reinem Hydroxylapatit. Außerdem geht ein Teil der Phosphorsäure durch das ständige Erneuern des Wassers verloren. Durch eine Abänderung läßt sich die Darstellungsweise des Hydroxylapatits dadurch verbessern, daß Dikalziumphosphat und Kalziumkarbonat mit Wasser zum Sieden erhitzt werden, so daß folgende Reaktion stattfinden kann

$$(2)\ 6\,CaHPO_4 \cdot 2\,H_2O + 4\,CaCO_3 = 3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2 + 4\,H_2O + 4\,CO_2.$$

Die hierbei freiwerdende Kohlensäure wird durch das Sieden ständig entfernt und die Reaktion kann vollständig von links nach rechts verlaufen. Da Dikalziumphosphat mit zwei Molekülen Kristallwasser leicht in reiner Form hergestellt werden kann und Kalziumkarbonat eine Urtitersubstanz darstellt, ist es möglich, eingewogene berechnete Mengen beider Stoffe zu reinem Hydroxylapatit reagieren zu lassen. Der Fortschritt der Reaktion läßt sich jederzeit durch Kohlensäurebestimmung verfolgen.

Zur Ausführung des Versuchs wurden 10,32 g $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (Schering-Kahlbaum zur Analyse), dessen Reinheit durch Kalzium- und Phosphorsäurebestimmungen geprüft war, und die nach Gl. 2 theoretische Menge von 4,00 g gefälltem und getrocknetem $CaCO_3$ (Schering-Kahlbaum zur Analyse) mit 100 ccm Wasser in einem Kjeldahlkolben mit kleiner Flamme zum Sieden erhitzt. In den Hals des Kolbens war als Rückflußkühler ein Glasrohr von etwa 60 cm Länge eingesetzt, dessen Durchmesser so gewählt war, daß zwischen Glasrohr und Kolbenhals nur ein wenig Spielraum vorhanden war. Während des Erhitzens wurde dieser durch eine Wasserhaut ausgefüllt und so ein praktisch vollständiger Abschluß ermöglicht. Beim Sieden machte sich kein Siedeverzug der Flüssigkeit bemerkbar, da dieser wahrscheinlich durch die ständige Entwicklung geringer Mengen Kohlensäure vermieden wurde[3]). In gewissen Zeitabständen wurde etwa 0,5 g Substanz aus dem Kolben ent-

[3]) Wenn gegen Ende der Reaktion fast alle Kohlensäure entfernt ist, tritt wieder der Siedeverzug auf. Er kann dadurch verhindert werden, daß ein Leinentuch in den Kolben gelegt wird oder ein Metallgefäß benutzt wird.

Tabelle 2. Kohlensäuregehalt während des Reaktionsablaufes von Dikalziumphosphat und Kalziumkarbonat.

Zeit der Entnahme der Probe	Kohlensäuregehalt in %
0	12
1 Tag	2
3 Tage	0,4
7 Tage	0,3
14 Tage	0,3

nommen, im Vakuumexsikator getrocknet und auf Kohlensäuregehalt analysiert (Tabelle 2).

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß, nachdem etwa drei Tage mit kleiner Flamme zum Sieden erhitzt wurde, fast keine Kohlensäure mehr vorhanden ist. Dieses Versuchsergebnis kann nur durch das Entstandensein von Hydroxylapatit erklärt werden; bei der Entstehung von Trikalziumphosphat müßte ein Teil der Kohlensäure (theoretisch 3,1 %) noch im Reaktionsprodukt vorhanden sein.

3. Neutralisation von Kalziumphosphaten.

Bei den in Abschnitt 1 und 2 beschriebenen Entstehungsarten des Hydroxylapatits wird durch den Einfluß der Korngröße eine starke Verzögerung der Reaktionsgeschwindigkeit bewirkt. Im Innern der Kristalle kann nur eine langsame Stoffumsetzung von der Oberfläche her erfolgen. Dadurch, daß man nicht die Hydrolyse bereits ausgefällter Kalziumphosphate vornimmt, sondern während ihrer Ausfällung die günstigsten Hydrolysebedingungen anwendet, kann man den verzögernden Einfluß der Korngröße ausschalten und sofort zu Hydroxylapatit gelangen. Die Zusammensetzung des ausfallenden Niederschlages soll hierbei nicht durch die unsichere Ergebnisse liefernde quantitative Kalzium- und Phosphorsäurebestimmung ermittelt werden, sondern soll sich an dem Neutralisationsverlauf zu erkennen geben, wenn zu einer siedenden Kalziumchloridlösung eine bestimmte Menge Monokaliumphosphat und steigende Mengen Natronlauge zugefügt werden, und der sich einstellende P_H-Wert als Funktion der Natronlaugemenge in einer Kurve aufgetragen wird. Reagieren Kalzium- und Phosphationen zu reinem Hydroxylapatit, so wird nach Gl. 3 zu dessen Ausfällung eine bestimmte Menge Natronlauge nötig sein. Wenn Trikalziumphosphat entstehen würde, so müßte $^1/_7$ weniger Natronlauge nach Gl. 4 verbraucht werden.

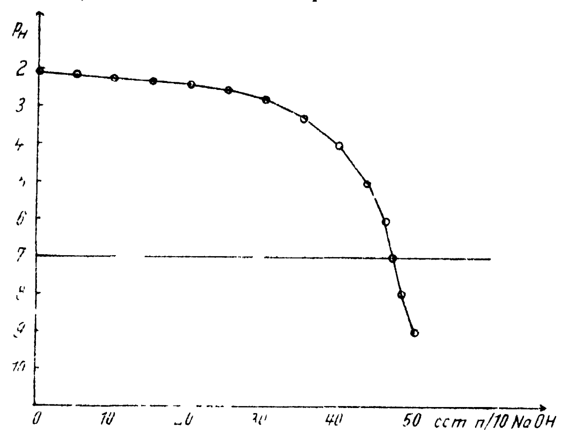
(3) $10\,CaCl_2 + 6\,KH_2PO_4 + 14\,NaOH = 3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2 + 14\,NaCl + 6\,KCl + 12\,H_2O$.

(4) $9\,CaCl_2 + 6\,KH_2PO_4 + 12\,NaOH = 3\,Ca_3(PO_4)_2 + 12\,NaCl + 6\,KCl + 12\,H_2O$.

Zum Versuch wurden in 500 ccm Wasser 0,8 g $CaCl_2 \cdot 6\,H_2O$ (Schering-Kahlbaum zum Analyse), das neutrale Reaktion zeigte und 0,286 g KH_2PO_4 (Schering-Kahlbaum zur Analyse

nach Sörensen) gelöst und zum Sieden erhitzt. Aus einer Bürette wurde n/10 Natronlauge (kohlensäurefrei) zugetropft und der sich einstellende pH-Wert der Lösung in herausgenommenen Proben von etwa 1 cm³ elektrometrisch gemessen. Als Funktion der zugefügten Menge Natronlauge ist er in Kurve 1 aufgetragen.

Man erkennt, daß ein Wendepunkt und ein Passieren des



Kurve 1. Bei der Neutralisation von Kalziumphosphat sich einstellende pH-Werte.

Neutralpunktes fast genau an der Stelle auftritt, wo die vorgelegte Menge von 0,286 g KH_2PO_4 nach Gl. 4 mit (theoretisch 49,0 cm³) n/10 Natronlauge zu Hydroxylapatit reagieren konnte. Bei einem um $^1/_7$ geringeren Verbrauch an Natronlauge, der nach Gl. 3 für das Entstehen von Trikalziumphosphat kennzeichnend wäre, ist keine ausgezeichnete Stelle der Kurve zu bemerken. Es dürfte also durch diese Art der Ausfällung nahezu reiner Hydroxylapatit entstanden sein.

Folgerungen:

Für die landwirtschaftliche Chemie ist die Tatsache, daß Hydroxylapatit das im Gleichgewicht mit Wasser einzig beständige Kalziumphosphat ist, und eine Verbindung „Trikalziumphosphat“ bei Gegenwart von Wasser nicht existenzfähig ist, insofern von Bedeutung, als viele Löslichkeitsuntersuchungen und Vegetationsversuche, die mit gefälltem „Trikalziumphosphat“ ausgeführt wurden, an Wert einbüßen, da dieses ein Gemisch von schwer- und leichter löslichem Kalziumphosphat darstellt.

Der „Trikalziumphosphatgehalt“ der Rohphosphate ist daher nur eine aus ihrem Phosphorsäuregehalt errechnete Zahl und entspricht nicht den wahren Verhältnissen. Es wäre richtiger, den „Reinapatitgehalt“ anzugeben. Für die Analyse der Phosphate ist die Tatsache wichtig, daß das in den OH-Gruppen des Hydroxylapatits enthaltene Wasser (1,8%) sich nicht durch einfaches Glühen entfernen läßt und eine besondere Berücksichtigung erfordert.

Die Anwendung von reinem Hydroxylapatit, dessen Darstellung in mikrokristalliner Form beschrieben ist, kann zu einer einwandfreien Klärung der Umsetzungen der Phosphate in Düngemitteln und Böden beitragen und dürfte besondere Bedeutung dadurch erhalten, daß bei Behandlung mit Wasser, Säuren, Alkalien, Humusstoffen, Silikaten usw. echte Löslichkeitsgleichgewichte sich einstellen, während grobkörnige Apatite, z. B. gemahlene Rohphosphate sich so langsam umsetzen, daß nur Lösungsgeschwindigkeiten gemessen werden können. Diesbezügliche Untersuchungen sollen in weiteren Arbeiten veröffentlicht werden.

Zusammenfassung.

Ausgehend von dem von A. Schleede, W. Schmidt und H. Kindt auf röntgenographischem Wege geführten Nachweis, daß Hydroxylapatit der Formel $3\,Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(OH)_2$ das einzige im Gleichgewicht mit Wasser beständige Kalziumphosphat ist, und eine Verbindung „Trikalziumphosphat“ bei Gegenwart von Wasser nicht existensfähig ist, wurde auf chemischem Wege die Hydrolyse der Kalziumphosphate untersucht.

1. Mit Hilfe einer besonderen Hydrolysevorrichtung wurde gefunden, daß das durch Ausfällung aus wässerigen Lösungen erhaltene und im Handel befindliche „Trikalziumphosphat“ ein Gemisch von Hydroxylapatit und Dikalziumphosphat ist, dessen Mengenverhältnis je nach Herstellungsfirma und Lieferung schwankt.

2. Es wurde eine Darstellungsvorschrift für reinen Hydroxylapatit angegeben.

3. Die Ausfällung von Hydroxylapatit wurde durch Neutralisation einer siedenden sauren Kalziumphosphatlösung erreicht.

Bei Verwendung von reinem, mikrokristallinem Hydroxylapatit zu Löslichkeitsuntersuchungen und Vegetationsversuchen stellen sich echte Löslichkeitsgleichgewichte ein, die zur Klärung der Umsetzung der Phosphate in Düngemitteln und Böden dienen können.

Schrifttum.

1. A. Schleede, W. Schmidt, u. H. Kindt: Zur Kenntnis der Kalziumphosphate nnd Apatite. Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. Berlin, **39**, 1932, 633--41.

[250]

Schriftwalter: Prof. Dr F Giesecke, Berlin-Dahlem — Anzeigenleiter. Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I v W. g — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G m b H, Berlin W 35, Corneliusstr 3

Bodenkunde und Pflanzenernährung, 12. (57.) Band, Heft 3/4.

Über den Einfluß mineralischer Düngung auf die chemische Zusammensetzung der Gersten- und Haferfrucht [1]).

Von **Rudolf Bercks.**

Aus dem Botanischen Institut und Botanischen Garten der Universität Münster [2]).

Direktor: Prof. Dr. Mevius.

Eingegangen: 30. November 1938.

A. Einleitung.

In Quarzsandversuchen mit verschieden hohen Gaben von Stickstoff, Kalium, Kalzium und Magnesium hat Pröpsting 1936 (1) festgestellt, daß eine Beeinflussung der Beschaffenheit des gebundenen Stickstoffs in der Gerstenfrucht möglich ist, und daß im Korn teilweise ähnliche Verhältnisse wie in Blättern grüner Pflanzen vorliegen.

Die vorliegenden Untersuchungen hatten zum Ziel, diese Ergebnisse weiter auszubauen und durch Hinzunahme des Hafers festzustellen, ob die bei der Gerste gewonnenen Ergebnisse auch für andere Getreidearten zutreffen. Die Qualität des Getreidekorns ist sowohl vom Stickstoff- als auch vom Kohlehydratgehalt abhängig. Deshalb wurde neben dem Gehalt an verschiedenen N-Verbindungen auch der Gehalt an Stärke, Zucker und Rohfaser ermittelt.

Über den Einfluß der Düngung auf die Ausbildung der Kohlehydrate im Getreidekorn sind keine genauen Versuche bekannt geworden; obschon des öfteren darauf hingewiesen wurde (2, 1), daß bei K-Mangel der Mehlkörper des Kornes schlecht ausgebildet wird. Bei den grünen Teilen der Pflanze ist dagegen die Rolle des Kaliums für den Kohlehydratstoffwechsel oft untersucht worden (3, 4, 5).

Von welcher nicht nur wissenschaftlichen, sondern auch praktischen Bedeutung derartige Versuche sind, darüber brauchen wohl keine Worte verloren zu werden. Es sei aber darauf hingewiesen, daß Russel (6) in seinem bekannten Buche „Boden und Pflanze“ der N-Düngung innerhalb eines weiten Bereiches keinen Einfluß auf die Zusammensetzung der Pflanze einräumt.

Wenn schon die Bedeutung des Stickstoffes strittig ist, so gilt das noch mehr für die anderen Nährstoffe. Es war daher wünschenswert, den Einfluß verschieden hoher Stickstoff-, Kalium-, Magnesium- und Kalziumgaben auf den Stickstoff-, den Kohlehydrat- und den Rohfasergehalt des Gersten- und Haferkorns zu untersuchen. Die grundsätzliche Klärung dieser Fragen ist nur in Gefäßversuchen mit reinem Quarzsand möglich, da bei Versuchen mit natürlichem Boden der Nährstoffgehalt desselben immer eine wenig bekannte Größe ist. Die verwickelten Verhältnisse des Freilandes dürfen natürlich nicht ohne weiteres zu unseren Untersuchungen in Beziehung gesetzt werden.

[1]) Diss. D 6, Univ. Münster, 1938.

[2]) Mit Mitteln des Forschungsdienstes durchgeführt. Arbeitskreis I 28. Federführender: Prof. Dr. Mevius.

Selbstverständlich ist die Düngung nicht allein ausschlaggebend für die Ausbildung und Güte des Getreides; als weitere wichtige Faktoren spielen Sorteneigentümlichkeiten und Klima eine Rolle. U. a. fanden Schieck (7), Pröpsting (1) und Wimmer und Lüdecke (8), daß verschiedene Gerstensorten teilweise ein verschiedenes physiologisches Verhalten zeigen. Die Versuche dieser Autoren lassen erkennen, daß man mit der Verallgemeinerung der an einer Art oder sogar nur an einer Sorte festgestellten Ergebnisse sehr vorsichtig sein muß und keineswegs angenommen werden kann, daß alle Pflanzen auf Düngung in gleicher Weise reagieren.

B. Methoden.

a) Anzucht der Pflanzen.

Die Versuche im Jahre 1936, bei denen die Gefäße frei im Botanischen Garten der Universität Münster aufgestellt werden mußten, gaben zwar Auskunft über die am besten anzuwendende Düngung und ließen bereits erkennen, in welcher Richtung diese wirksam ist, aber einwandfreie Schlußfolgerungen ließen sich aus den Analysen nicht ziehen. Durch die andauernden reichlichen Niederschläge gerade in der Hauptvegetationszeit wurden die Nährsalze fast vollständig aus dem absorptionsunfähigen Sand in die Untersätze gespült. Ein Zurückschütten war nicht möglich, da immer neue, heftige Regengüsse das Antrocknen des Sandes verhinderten. Somit standen die Wurzeln der Pflanzen während vieler Wochen in einem Boden, dessen Wasserkapazität zu 100% erreicht war. Die Folgen waren schlechtes Wachstum, geringe Erträge, unvollständige Ausbildung des Kornes und teilweise Ausgleichung der durch die Düngung bewirkten Unterschiede.

Im Sommer 1937 wurden daher die Versuche zur Vermeidung ähnlicher klimatischer Einflüsse unter Zuhilfenahme einer Vegetationshalle angestellt. Zwar standen die Pflanzen im Freien, konnten aber bei ungünstiger Witterung in das Haus geschoben werden. Als Versuchspflanzen dienten die Gerstensorte (Hordeum sativum distichum) „Bethge und Oelze XIII", mit der auch Pröpsting (1) gearbeitet hat, und v. Lochows Petkuser Gelbhafer (Avena sativa). Das Saatgut, welches die Saatgutanstalten dankenswerterweise zur Verfügung stellten, wurde vor der Aussaat mit Uspulun gebeizt.

Als Kulturgefäße dienten Mitscherlich-Töpfe in dreifacher Wiederholung je Reihe, die mit 6 kg reinem Dorentroper Quarzsand (99,9% SiO_2) gefüllt und in der üblichen Weise bepflanzt wurden. Gegossen wurde mit Aq. dest.

Zur Düngung fanden nur reinste Salze von den Firmen Merck und Schering & Kahlbaum Verwendung. Die Grunddüngung je Gefäß betrug für Gerste: 3 g $CaCO_3$, 1 g P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, 0,1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 g $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, 0,25 g NaCl. Der Hafer erhielt je Topf: 1,5 g $CaCO_3$, 0,25 g P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, 1 g P_2O_5 als $Ca_3(PO_4)_2$, 0,1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 g $MnSO_4 \cdot 5H_2O$, 0,25 g NaCl.

Die Zusatzdüngung je Gefäß war in jeder Versuchsreihe verschieden. Angaben darüber finden sich im experimentellen Teil.

b) Analysenmethoden.

1. Gesamt-N-Bestimmung.

Auf einen möglichst weitgehenden und gleichen Feinheitsgrad der mit einer Gewürzmühle erhaltenen Mehlproben wurde größter Wert gelegt. Bei der Probeentnahme vor der Einwaage für die Analysen wurde wie bei Pröpsting (1) verfahren. Wie wichtig eine gute Durchmischung bei der Probeentnahme ist, geht aus Angaben Nielsens (9) hervor. Er fand bei Gerstenkörnern, daß der N-Gehalt von Körnern aus derselben Ähre in der Regel zwischen 20—40% und bei solchen aus verschiedenen Ähren zwischen

31 131% schwankte. Für die Gesamt-N-Bestimmungen wurden 250 mg Mehl aufgeschlossen, auf 250 ccm aufgefüllt und davon jeweils 10 ccm zur Analyse nach P r e g l (10) benutzt.

2. Bestimmung des Eiweiß-N und des löslichen N.

Die Eiweißverbindungen wurden nach E n g e l (11) gefällt, und der Eiweißstickstoff wurde als Differenz des Gesamt-N und löslichen N berechnet (1, 12).

3. Bestimmung des Amid- und Rest-N.

Der Amid-N wurde in bekannter Weise mit Schwefelsäure hydrolisiert und dann im Vakuum, in späteren Versuchen auch unter gewöhnlichem Druck, abdestilliert. I c h stellte nämlich in Übereinstimmung mit E n g e l (12) fest, daß unter gewöhnlichem Druck und im strömendem Dampf bei einer Destillationsdauer von 5 Minuten keine wesentliche Erhöhung dieser Fraktion eintritt.

Neuerdings wurde gefunden (13), daß bei der Säurehydrolyse der Amide eventuell auch andere Stoffe als Glutamin und Asparagin NH_3 abspalten und infolgedessen dieser Amidbestimmung von vornherein eine gewisse Unsicherheit zukommt. Eine Bestimmung des Ammoniak-N unterblieb, nachdem ich in orientierenden Versuchen bemerkte, daß auch bei meinen Körnern, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen P r o p s t i n g s (1), die Werte innerhalb der Fehlergrenzen lagen. Der Rest-N, der in der Hauptsache aus α-Aminosäuren bestehen dürfte, wurde als Differenz des gesamtlöslichen N und des doppelten Amid-N ermittelt.

4. Stärkebestimmung.

Die Stärke bestimmte ich nach W e n g l e i n (14) polarimetrisch als lösliche Stärke. Um Substanz zu sparen, arbeitete ich nicht mit 2,5 g Mehl, sondern nur mit 1,25 g, infolgedessen mußten auch alle anderen Werte der Analysenvorschrift halbiert werden. Bei dieser Methode konnten die im Korn enthaltenen löslichen Zucker, wie Versuche zeigten, völlig vernachlässigt werden. Die spezifische Drehung der Haferstärke wurde gleich der der Gerstenstärke angenommen, wodurch ein kleiner, nur unwesentlicher Fehler in den absoluten Werten des Hafers entstanden sein kann. Ich arbeitete mit einem Kreispolarimeter von Zeiß mit einer hinreichenden Ablesegenauigkeit von 0,05°.

5. Zuckerbestimmung.

Von den im Wasser löslichen Kohlehydraten wurden die reduzierenden Zucker titrimetrisch nach B e r t r a n d (15) bestimmt. Diesem Verfahren wurde, trotzdem nicht alle eventuell vorkommenden Zucker erfaßt werden, gegenüber einer polarimetrischen Bestimmung der Vorzug gegeben, weil die Reduktionswerte der Monosen gegenüber Kupfer nur unwesentlich schwanken und man somit, ohne einen ins Gewicht fallenden Fehler zu begehen, einen Mittelwert für die Reduktionskraft annehmen kann. Bei der Berechnung der Zuckerwerte wurde die Reduktionskraft der Glukose zugrundegelegt. Die naturgemäß schwächer reduzierenden Disaccharide, welche auch größere individuelle Unterschiede zeigen, wurden durch 10 Minuten langes Kochen mittels 10%iger Zitronensäure hydrolysiert. Eine polarimetrische Analyse mußte daran scheitern, daß die spezifische Drehung der verschiedenen Zuckerarten derart voneinander abweicht, daß unmöglich ein mittlerer spezifischer Drehungswinkel angenommen werden kann.

6. Rohfaserbestimmung.

Obwohl wir uns über den problematischen Charakter der sogenannten Rohfaser im klaren sind, zogen wir sie doch in den Kreis unserer Untersuchungen. Das Verfahren von R a h n (16) ergibt ein Produkt, das aus ziemlich reiner Zellulose besteht. Dazu kommt gegenüber allen anderen Methoden der Vorzug großer Einfachheit und gut übereinstimmender Werte.

Es erwies sich bei unserem Versuchsmaterial als überflüssig, während der 70 Minuten dauernden Hydrolyse etwas von der hydrolysierenden Salpetersäure abzusaugen, da die Gefahr einer Verstopfung der Goochtiegel niemals bestand. Zur Analyse verwandte ich jeweils 500 mg.

c) Bezugsgröße.

Um die Beeinflussung der Beschaffenheit des einzelnen Getreidekornes durch die Düngung festzustellen, erscheint es notwendig, auch das einzelne Korn bei den Untersuchungen zu berücksichtigen, worauf Propsting (1) schon hinweist. Wir bestimmten zu diesem Zwecke die Kornzahl eines jeden Topfes und errechneten die im Einzelkorn enthaltenen Mengen an Gesamt-N, Eiweiß, Stärke usw. Dabei gelangten wir teilweise zu ganz anderen Werten als bei einer Bezugnahme auf das Trockengewicht. Wie verhängnisvoll gerade bei physiologischen Untersuchungen, insbesondere des N-Stoffwechsels, das Trockengewicht als Bezugsgröße sein kann, ist in der Literatur oft hervorgehoben worden (17). Für die Bedürfnisse der Landwirtschaft gibt naturgemäß das Trockengewicht als Bezugsgröße die Verhältnisse besser wieder. Zur Ergänzung sind deshalb auch die Prozentwerte errechnet worden.

C. Experimenteller Teil.

a) Allgemeine Vegetationsbeobachtungen.

Keimung, Bestockung, Schossen und Reifen der Pflanzen verliefen im allgemeinen normal. Gerste und Hafer zeigten in der Ca-Reihe aus Gründen, die ich noch nennen werde, Phosphatschaden. Diese traten bei der Gerste nur vorübergehend in Erscheinung, beim Hafer verstärkten sie sich mehr und mehr, so daß die Pflanzen von den späteren chemischen Untersuchungen ausgeschlossen werden mußten. Da sich, besonders auf den Pflanzen der unteren Mg-Reihen, Mehltau bemerkbar machte, wurden alle Pflanzen mit kolloidaler Schwefellösung bespritzt. Die Zeit der Reife war nicht in allen Reihen die gleiche. Während die N- und K-Mangelpflanzen bereits Anfang Juli reiften, war das bei den entsprechenden Überschußpflanzen erst Ende Juli und bei den Mg-Mangelpflanzen erst Anfang August der Fall. Es bleibt noch zu erwähnen, daß die Unterschiede in den einzelnen Reihen beim Hafer nicht so hervortraten wie bei der Gerste, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß der Hafer schon mit verhältnismäßig geringen Nährstoffgaben vorlieb nimmt.

b) Der Einfluß des N.

1. Düngung und Erträge.

Bei der Gerste wurden vier verschiedene N-Gaben, nämlich 0,25, 0,50, 1,00 und 1,50 g N als Ammoniumnitrat in üblicher Weise gegeben. Weiterhin erhielten die Pflanzen außer der schon angegebenen Grunddüngung noch folgende Nährsalze: 1 g K 2,23 g K_2SO_4, 0,080 g Mg 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,233 g Ca 1,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Außer der Grunddüngung erhielt der Hafer K und Ca wie oben, ferner 0,0356 g Mg – 0,36 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Der Stickstoff wurde in vier Reihen gestaffelt: 0,25 g, 0,5 g, 1,25 g und 2,0 g als Ammoniumnitrat.

Seit langem ist bekannt, daß Bestockung, Kornzahl usw. durch den Stickstoff weitgehend beeinflußt werden. Trotzdem lohnt es sich, diese Beeinflussung im vorliegenden Fall quantitativ zu verfolgen. In den Tabellen 1 und 3 sind die erhaltenen Werte zu-

sammengestellt worden. Um diese unter sich sowie zwischen beiden Pflanzen besser vergleichen zu können, und um dadurch die spezifischen Wirkungen des N besser zum Ausdruck zu bringen, wurden sie auf die in der untersten N-Reihe ermittelten Werte bezogen (vgl. Tab. 2 und 4).

Tabelle 1.

N-Düngung und Erträge bei Gerste.

Düngung g N	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in 1 Ähre	Ein-Korngewicht mg	Korngewicht je Ähre mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Verhältnis Stroh/Korn
0,25	19,5	321	16,5	34,6	569,3	11,15	733	14,3	1,28
	± 0,5	± 13	0,3	1,6	67	1,6		0,2	
0,50	52,7	707	13,4	32,7	439,9	23,13	474	25,0	1,08
	± 0,9	± 9,1	± 0,3	0,4	14	± 0,4		± 0,4	
1,00	70,0	879	12,6	31,3	392,5	27,51	386	27,0	0,98
	1,5	18,2	0,5	0,8	8	0,6		0,9	
1,50	81,7	981	12,0	31,5	377,1	30,82	393	32,1	1,04
	± 4,2	± 37,6	0,1	0,9	± 7	1,0		± 1	

Tabelle 2.

N-Gabe	Bestokkung %	Kornzahl je Topf %	Kornzahl je Ähre %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Ähre %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	270	220	81,2	94,5	77,3	207	64,7	175
400	359	274	76,4	90,5	69,0	247	52,7	189
600	419	306	72,7	91,0	66,3	276	53,6	224

Bei der Gerste hatte die Erhöhung der N-Gabe von 0,25 auf 0,50 g zur Folge: eine kraftige Bestockung[3]), eine im Verhältnis dazu weniger starke Zunahme des Strohgewichtes je Topf, sowie ein Ansteigen der Kornzahl und des Korngewichtes je Topf. In bezug auf den einzelnen Halm zeigte sich jedoch eine Verminderung des Strohgewichtes, eine Abnahme der Kornzahl und des Korngewichtes je Ähre. Was das einzelne Korn schließlich angeht, war eine Verminderung des Einkorngewichtes zu verzeichnen.

Die weitere Erhöhung der N-Gabe von 0,50 auf 1,00 g wirkte sich in gleicher Richtung aus, nur nicht mehr in dem Ausmaß, ebenso die letzte Steigerung von 1,00 auf 1,50 g N. Die schwersten Halme mit höchster Kornzahl in den Ähren und schwersten Körnern wurden somit bei der kleinsten N-Gabe erhalten. Je höher die N-Gabe war, desto leichter wurden die Halme, die Ähren und die Körner darin. Da aber andererseits die Bestockung erheblich

[3]) Bestockung = Zahl der Ähren bzw. Rispen tragenden Halme.

gefördert wurde, nahmen die Gesamterträge an Korn und Stroh bedeutend zu.

Was den Hafer anbetrifft, hatte die Erhöhung der N-Gabe von der ersten zur zweiten Stufe folgenden Einfluß ausgeübt: keine Bestockung, aber wie bei der Gerste eine starke Vermehrung des Strohanteiles je Topf, sowie eine beträchtliche Vermehrung der Körner und des Korngewichtes je Topf. Da keine Bestockung eingetreten war, galt für den einzelnen Halm dasselbe wie für die Pflanzen eines Topfes: Zunahme des Halmgewichtes und Erhöhung der Kornzahl sowie des Korngewichtes je Rispe. Was das einzelne Korn angeht, war wie bei der Gerste eine Verminderung des Einkorngewichtes festzustellen.

Tabelle 3.

N-Düngung und Erträge bei Hafer.

Düngung g N	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in 1 Rispe	Ein-Korngewicht mg	Korngew. je Rispe mg	Korngew. je Topf g	Strohgew. je Halm mg	Strohgew. je Topf g	Verhältnis Stroh/Korn
0,25	19	524	27,6	26	713	13,54	1163	22,1	1,63
	± 0	56	± 3	1,0	50	0,94		± 1,0	
0,50	19	1128	59,3	23,2	1377	26,17	1905	36,2	1,38
	0	± 13	± 0,7	± 0,1	17	0,31		1,0	
1,25	29,7	1524	51,3	21,5	1103	32,88	1700	50,5	1,55
	± 0,7	52	2,5	± 0,6	39	1,02		1,7	
2,00	38,7	1061	27,4	18,5	505	19,51	1204	46,6	2,30
	3	95	± 0,4	0,5	6	1,27		2,1	

Tabelle 4.

N-Gabe	Bestokkung %	Kornzahl je Topf %	Kornzahl je Rispe %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Rispe %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	100	215	215	90,0	193	193	164	164
500	156	291	186	82,7	155	243	146	228
800	204	202	99,2	71,2	70,8	144	104	211

Die weitere Erhöhung der N-Gabe von der zweiten zur dritten Stufe führte zur Bestockung, die aber wesentlich hinter der bei der Gerste zurückblieb. Sonst lagen die Verhältnisse ähnlich wie dort: weitere Zunahme des Strohanteiles sowie der Kornzahl und des Korngewichtes je Topf. Der einzelne Halm dagegen verminderte sein Gewicht, auch wurde die Anzahl der Körner in der Rispe herabgesetzt sowie das Gewicht derselben. Ebenso nahm das Einkorngewicht weiter ab.

Die letzte Steigerung der N-Gabe von 1,25 auf 2,00 g wirkte sich in bezug auf das einzelne Korn und den Halm weiter, und zwar

stärker in genannter Richtung aus. Die Folge davon war, daß es trotz Zunahme der Bestockung zum Unterschied gegen die Gerste zu einer Verminderung der Gesamternten an Korn und Stroh je Topf kam. Wahrscheinlich wäre auch bei der Gerste ein Absinken der Gesamterträge zu beobachten gewesen, wenn die höchste N-Gabe nicht 1,50, sondern wie beim Hafer 2,00 g betragen hätte.

Besonders bemerkenswert sind die Unterschiede in der Wirkung der kleinen N-Gaben bei beiden Pflanzen. Während die Gerste die Erhöhung der N-Gabe von der ersten zur zweiten Stufe mit einer Verminderung des Fruchtansatzes in der Ähre beantwortete, erfuhr dieser in der Haferrispe eine beachtliche Steigerung. Dieser Unterschied kam aber im Gesamtkornertrag nicht zum Ausdruck. Während nämlich der Hafer den Anstieg im Gesamt-Kornertrag allein durch vermehrte Fruchtbildung in der Rispe herbeiführte, erreichte die Gerste durch vermehrte Bestockung das gleiche: Zunahme der Gesamtkornzahl um ungefähr 220%.

Von allen untersuchten Größen ist die Kornzahl je Topf durch den Stickstoff in der Düngung am deutlichsten beeinflußt worden, wenn man von der Bestockung bei der Gerste absieht. Was den einzelnen Halm angeht, verhalten sich beide Pflanzen verschieden. Während bei der Gerste der Strohanteil stärker als die Kornzahl reagierte — offenbar eine Folge der Bestockung — antwortete der Hafer gerade umgekehrt mit stärkerer Veränderung des Kornanteiles gegenüber dem Strohanteil — eine Folge des Ausbleibens der Bestockung. Gleichsinnig antwortete in beiden Fällen das Gewicht des Einzelkornes, aber bei der Gerste weniger ausgeprägt als beim Hafer, was vielleicht ebenfalls mit dem geringen Vermögen des Hafers, sich zu bestocken, in Verbindung gebracht werden muß.

Gegenüber einigen Werten Pröpstings (1) für Gerste zeigen sich gewisse Unterschiede, die wohl durch die günstigere Düngung bei meinen Versuchen bedingt sind. Während Pröpsting bei 0,8 g N den höchsten Kornertrag erhielt, erzielte ich eine Steigerung bis zur höchsten Gabe von 1,5 g.

Da die Stroherträge meiner Versuche etwas geringer sind als diejenigen Versuche Pröpstings, die Kornerträge aber wesentlich höher liegen, schwankt das Verhältnis Stroh : Korn auch nur in viel engeren Grenzen, obgleich die Unterschiede durchaus deutlich sind. Das günstigste Verhältnis liegt bei der Gerste in der dritten, beim Hafer in der zweiten Reihe vor.

Der Hafer erfährt durch die höchste N-Gabe von 2,0 g eine wesentliche Schädigung, die sich vor allem durch einen Rückgang des Einkorngewichtes, der Kornzahl und dadurch auch des Gesamtkornertrages äußert. Dagegen ist die Bestockung noch weiterhin vergrößert. Die Gerste zeigt bei der größten N-Gabe von 1,5 g noch keinen Schaden, vielmehr steigen Korngewicht, Kornzahl und Strohgewicht je Topf noch an. Aus diesem Verhalten kann nur der Schluß gezogen werden, daß die optimale N-Konzentration noch nicht überschritten wurde, während bei den Versuchen

Pröpstings (1) 1,6 g N schon einen wesentlichen Ruckgang im Gesamtkorngewicht bewirkten. Der Unterschied wird m. E. durch die verschieden hohe K-Düngung hervorgerufen sein; Pröpsting wandte 0,5 g K an, wogegen ich 1,0 g gab. Es ist bekannt, daß mit höheren K-Gaben auch größere Mengen Stickstoff vertragen werden (K : N-Antagonismus).

Tabelle 5.

N-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner. (Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g N	Ein-Korn-gewicht	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,25	34,6	0,364	0,3408	0,0227	0,0039	0,0189
	± 1,6	± 0,006	± 0,0059	± 0,004	± 0,0001	0,0005
0,50	32,7	0,384	0,3601	0,0235	0,0043	0,0192
	0,4	± 0,005	0,0052	± 0,004	± 0,0002	0,0002
1,00	31,3	0,531	0,5012	0,0295	0,0056	0,0239
	± 0,8	± 0,020	± 0,0270	± 0,007	± 0,0001	0,0005
1,50	31,5	0,593	0,5650	0,0276	0,0095	0,0181
	± 0,9	± 0,031	± 0,0306	± 0,0002	0,0002	0,0002

2. N-Verbindungen.

Wie eingangs erwähnt, kam es bei unseren Untersuchungen vor allem darauf an, die Verhältnisse im einzelnen Korn zu erfassen. Aus Tabelle 5, in der die absoluten Zahlen fur die N-Werte des Gerstenkornes enthalten sind, ergibt sich eine weitgehende Beeinflussung durch die N-Dungung in allen Fraktionen. Auffallend ist zunächst, daß die Zahlen fur 0,25 und 0,50 g N fast gleich sind. Die großere N-Gabe ist dazu benutzt worden, mehr Körner und zwar uber die doppelte Anzahl (s. Tab. 1) auszubilden, so daß fur das einzelne Korn nicht mehr Stickstoff als bei einer Dungung mit 0,25 g zur Verfugung stand. Es ist also nicht unter allen Umständen notwendig, daß sich der N-Gehalt der Dungung in der Zusammensetzung des Korns widerspiegelt. Wie groß diese Wirkung aber sein kann, zeigt ein Vergleich der Werte der drei oberen Reihen. Während man von der untersten Reihe vielleicht noch behaupten konnte, daß hier krankhafte Zustände vorliegen, ist das fur die drei oberen nicht möglich. Gegenuber der Meinung Pröpstings (1), der eine normale Ausbildung des Korns von einer bestimmten mittleren N-Gabe fur abhangig hielt, lassen die absoluten Werte erkennen, daß selbst bei normalem Korn noch eine erhebliche Beeinflussung des N-Gehaltes möglich ist.

An der Zunahme des Stickstoffgehaltes von der zweiten zur dritten Reihe beteiligten sich Eiweiß- und löslicher N, besonders aber der erste, während bemerkenswerterweise die weitere Erhöhung in der höchsten Reihe allein dem Eiweiß-N zugutekommt.

Deutlicher werden die Verhältnisse noch bei Betrachtung der auf Gesamt- und löslichen Stickstoff bezogenen Werte in Tabelle 6.

Auch jetzt verhalten sich die N_1- und N_2-Reihe praktisch gleich. Mit größerer N-Menge in der Dungung nimmt der Eiweiß-N zu

Tabelle 6.

N-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner.

(Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf löslichen N.)

Düngung g N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N
0,25	93,6	6,4	1,1	17,2	5,2	82,8	15
0,50	93,8	6,2	1,1	18,3	5,0	81,7	15,3
1,00	94,4	5,6	1,1	19,0	4,5	81,0	17,0
1,50	95,3	4,7	1,6	34,4	3,1	65,6	20,5

und der lösliche N entsprechend ab. Bei 1,5 g N erreichte das Verhältnis Eiweiß-N zu löslichem N den weitaus besten Wert. Lediglich innerhalb der Fraktion des löslichen N finden wir die Ergebnisse P r ö p s t i n g s bestätigt, der mit zunehmender N-Gabe eine Anhäufung des Amid- und Verringerung des Rest-N feststellte. In Blättern fand E n g e l (11) bei N-Mangel ebenfalls eine Anhäufung von Aminosäuren, während der Amid-Stickstoff eine Abnahme erfuhr. Eine Zunahme von Amiden bei reichlicher N-Zufuhr ist seit langem bekannt (18, 19) und wird meist so gedeutet, daß der nicht zum Eiweißaufbau gebrauchte bzw. aus dem Abbau stammende Stickstoff bei genügender Kohlehydrat-Zufuhr in dieser Weise gespeichert oder entgiftet wird.

Betrachten wir anschließend die Werte bei der Haferfrucht, so finden wir teilweise Übereinstimmung, teils aber auch Abweichungen gegenüber der Gerste. Wenden wir uns zunächst den auf das Ein-Korngewicht bezogenen Ergebnissen zu, dann sehen wir beim Gesamt-N dieselben Verhältnisse. Wieder bewirkt die Erhöhung der Düngung von 0,25 auf 0,50 g N keine Vermehrung des N-Gehaltes; auch in diesem Falle wird aller Stickstoff dazu benutzt, die Kornzahl auf das Doppelte zu vermehren (s. Tab. 3 u. 4). In der dritten und vierten Reihe steigt dann der N-Gehalt,

Tabelle 7.

N-Düngung und N-Gehalt der Haferkörner.

(Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g N	Ein-Korngewicht	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,25	26 ± 1,0	0,3168 ± 0,0263	0,2930 0,0240	0,0239 ± 0,0024	0,0062 ± 0,0002	0,0177 ± 0,0026
0,50	23,9 0,1	0,2968 ± 0,0049	0,2787 ± 0,0039	0,0182 ± 0,0011	0,0062 ± 0	0,0120 0,0011
1,25	21,5 ± 0,6	0,4701 ± 0,0045	0,4386 0,0050	0,0316 ± 0,0004	0,0082 ± 0,0004	0,0234 0,0009
2,00	18,5 ± 0,5	0,6171 0,0177	0,5798 ± 0,0152	0,0406 ± 0,0016	0,0135 ± 0,0010	0,0271 ± 0,0010

besonders der Eiweiß-Stickstoff, wieder erheblich an, so daß wir bei der höchsten Stufe ungefähr doppelt soviel Stickstoff im Korn finden wie in der 1. und 2. Reihe. Dabei ist zu beachten, daß bei

N_3 die Kornzahl noch weiter gestiegen ist, während sie bei N_4 schon wieder abgenommen hat. Überhaupt ist bei 2,0 g N in der Dungung die ganze Pflanze nicht mehr so gut entwickelt (s. Tab. 3); das Optimum ihrer Ausbildung ist deutlich uberschritten. Propsting (1) fand bei seiner zweiten Gerstensorte auch einen Anstieg des Gesamt-N bei Uberschußdungung. Da von ihm aber nur Prozentwerte angegeben werden, läßt sich nicht ersehen, ob der N-Gehalt des Einzelkorns gestiegen ist oder ob das Ein-Korngewicht abgenommen hat und dadurch ein erhohter Stickstoffgehalt vorgetäuscht wurde. An der Erhöhung des Gesamt-N in der N_3- und N_4-Reihe beteiligen sich Eiweiß- und loslicher Stickstoff und weiter beim loslichen Stickstoff sowohl die Amid- wie auch die Rest-N-Fraktion.

Durch die „Arbeiten uber Kalidungung" der Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikates (20) wurde ebenfalls bei Gefaßversuchen mit Quarzsand fur Hafer durch steigende N-Dungung eine prozentuale Erhohung des N-Gehaltes im Korn ermittelt

Tabelle 8.

N-Düngung und N-Gehalt der Haterkörner
(Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf loslichen N.)

Düngung g N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N (Gesamt-N)	Doppelter Amid-N (lösl. N)	Rest-N (Gesamt-N)	Rest-N (lösl. N)	Fiweiß-N / losl. N
0,25	92,5	7,5	2,0	26,0	5,5	74,0	12,3
0,50	93,9	6,1	2,1	34,1	4,0	65,9	15,3
1,25	93,3	6,7	1,7	25,9	5,0	74,1	13,9
2,00	93,9	6,1	2,2	33,3	3,9	66,7	14,3

Beziehen wir die Ergebnisse auf Gesamt- und loslichen Stickstoff, so ergeben sich gegenuber der Gerste großere und z. T. undurchsichtige Unterschiede. Zwar kommt es in der untersten N-Reihe auch zu einer gewissen Anhäufung von loslichem Stickstoff. Das Verhaltnis Eiweiß-N : loslichem N ist aber nicht so empfindlich gegen die Dungungsunterschiede und bei der optimalen N- und der Uberschußreihe praktisch gleich.

Vielleicht sind auch die Ergebnisse Knodels (21), dessen Versuche eine ganz andere Zielsetzung hatten, durch eine gewisse Unempfindlichkeit des Hafers zu erklaren Er fand namlich bei Untersuchungen des Preßsaftes von Haferpflanzen keine deutliche Beziehung zwischen N-Dungung und loslichem N im Zellsaft.

Man hatte vielleicht erwarten konnen, daß bei der das gesamte Wachstum schadigenden N-Gabe von 2,0 g eine ubermaßige Zunahme des löslichen Stickstoffs zu verzeichnen gewesen ware, aber davon war nichts zu bemerken. Merkwurdig ist auch, daß relativ am meisten Eiweiß in der N_2-Reihe gebildet ist, obschon der Gesamt-N-Gehalt sogar noch etwas unter dem der N_1-Reihe liegt. Selbst wenn der Eiweißwert etwas zu hoch ware, was nach den drei Parallelen, mit denen in jeder Reihe gearbeitet wurde, nicht anzunehmen ist, wurde der Unterschied gegenuber der ersten

Reihe immer noch bestehen bleiben. Amid- und Rest-N ergaben so unregelmäßige Werte, daß eine Deutung unmöglich ist und eine Besprechung sich daher erubrigt.

Aus den vorliegenden Beobachtungen ergibt sich der bemerkenswerte Schluß, daß in meinen Versuchen der Gesamt-N-Gehalt beim Hafer ebenso wie bei der Gerste durch die N-Düngung stark beeinflußbar ist. Dagegen ist eine Verschiebung innerhalb der Fraktionen des Gesamt-N beim Hafer nur beschränkt möglich, während die Gerste in außerordentlich feiner Weise auf die N-Düngung reagiert; diese Feststellung werden wir auch in den übrigen Versuchsreihen machen.

3. Kohlehydrate.

Wie schon das Ein-Korngewicht vermuten läßt, ist der Stärkegehalt in der untersten N-Reihe der Gerste am höchsten und fällt

Tabelle 9.

N-Düngung und Kohlehydrate im Gerstenkorn.
Zahlen mit Mittelwerten mg in einem Korn.
Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.

Düngung g N	Ein-Korngewicht mg	Stärke mg	Stärke %	Zucker mg	Zucker %	Stärke / Zucker
0,25	34,6	18,35	53,0	0,665	1,92	27,6
	1,6	2,45		0,095		
0,50	32,7	17,2	52,6	0,627	1,92	27,4
	0,4	0,34		0,025		
1,00	31,3	15,7	50,2	0,563	1,80	27,9
	0,8	0,7		0,024		
1,50	31,5	15,3	48,6	0,507	1,61	30,2
	0,9	0,47		0,028		

mit steigender N-Konzentration im Boden, was ebenso aus den absoluten wie aus den Prozentwerten hervorgeht. Man könnte zunächst vermuten, daß in gleicher Weise wie der N-Gehalt des Kornes in den oberen Reihen zunimmt, die Stärke verschwindet, weil für die Überführung des Stickstoffs in Eiweißbausteine Kohlehydrate verbraucht werden. Das ist aber keineswegs der Fall. Der Unterschied im Stärkegehalt ist in der ersten und zweiten Reihe weitaus größer als in der dritten und vierten, während der Stickstoff in den ersten beiden Reihen praktisch gleich ist, dagegen in der vierten gegenüber der dritten wesentlich ansteigt. Wir können daraus den Schluß ziehen, daß die zum Eiweißaufbau in den Körnern notwendigen Aminosäuren nicht oder nur wenig in den Körnern selbst gebildet werden, sondern außerhalb derselben. Die Körner bekommen in ihrer Eigenschaft als Reservestoffbehälter die Eiweiß- und Stärkebausteine in praeformiertem Zustande zugeleitet. Es können daher die Beziehungen zwischen Kohlehydrat- und N-Stoffwechsel in den Körnern nicht mehr so eng sein, wie an den Orten in der Pflanze, wo N- und C-Verbindungen dauernd in Reaktion miteinander treten (Wurzel, Stengel, Blätter).

Wie ist nun die große Zunahme der Stärke in der untersten Reihe zu erklären? Die Pflanzen zeigten die typischen N-Mangelerscheinungen (Tab. 1). Das Wachstum war zurückgeblieben, nur wenige Blätter waren ausgebildet. Gregory und Richards (22) fanden bei Gerste und Müller und Larsen (23) bei Sinapis alba die Assimilationsintensität bei N-Mangel verringert. Nach alledem könnte man vermuten, daß der Stärkegehalt im Korn auch herabgesetzt sein mußte, zumal die Vegetationsperiode verkürzt ist.

Um doch den Stärkereichtum erklären zu können, ist zu beachten, daß nicht nur das Stroh-, sondern auch das Gesamtkorngewicht gesunken ist und zwar stärker als das Strohgewicht, so daß das Verhältnis Stroh : Korn zugunsten des Strohes verschoben wird (s. Tab. 1). Für unsere Frage bedeutet dies einen größeren Anteil assimilierender Oberfläche je Korn bei der kleinsten N-Gabe; und man muß annehmen, daß die vielleicht geringere Assimilationsintensität dadurch mehr als ausgeglichen wird.

Der Einfluß des Stickstoffs auf den Stärkehaushalt liegt also in diesem Falle wohl mehr darin, daß er begrenzender Faktor für das Wachstum der gesamten Pflanze ist.

Für die Abnahme des Stärkegehaltes in den höheren N-Reihen ist neben dem gesteigerten Verbrauch von C im Stickstoffhaushalt vor allem die größere Kornzahl, die bis zur höchsten Reihe zunimmt, (s. Tab. 1), verantwortlich zu machen.

Der absolute Zuckergehalt ist ebenfalls in der untersten Reihe am höchsten und verringert sich bei den höheren in deutlichen Abständen. Das Verhältnis Stärke : Zucker wird in noch anderer Weise beeinflußt. Die große Ansammlung von Stärke in den Körnern der untersten Reihe bewirkt trotz der Erhöhung des Zuckergehaltes ein durchaus normales Verhältnis. Ein klarer Anstieg dieser Größe findet erst in der vierten Reihe statt. Das stimmt etwa mit den Ergebnissen der N-Werte überein. Auch dort (s. Tab. 6) war die bedeutendste Zunahme des Verhältnisses Eiweiß : löslichem N in der obersten Reihe festzustellen. Im folgenden werden wir an anderen Beispielen noch sehen können, daß das genannte Verhältnis beim Stickstoff und den Kohlehydraten auch in entgegengesetzter Weise geändert werden kann.

Der Hafer zeigt ebenso wie die Gerste eine Abanhme des Stärkegehaltes von der untersten bis zur höchsten N-Reihe, und zwar sind die Abstufungen zwischen den einzelnen Reihen noch klarer als bei der Gerste. Was wir bezüglich des hohen Stärkegehaltes in der untersten Reihe bei der Gerste sagten, hat auch hier Gültigkeit.

Die obersten N-Reihen des Hafers und der Gerste sind nicht miteinander vergleichbar, denn einmal ist der Hafer durch die höchste N-Gabe schon geschädigt, was sich vor allem in einer starken Erniedrigung der Kornzahl je Topf bemerkbar macht (s. Tab. 3), sodann ist die höchste N-Gabe beim Hafer um 25% höher als bei der Gerste. Es ist möglich, daß infolgedessen die Assimilation des Kohlenstoffs nicht mehr mit der des Stickstoffs Schritt zu

Tabelle 10.
N-Düngung und Kohlehydrate im Haferkorn.
(Zahlen mit Mittelwerten = in einem Korn. Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g N	Ein-Korn-gewicht mg	Stärke mg	Stärke °/₀	Zucker mg	Zucker °/₀	Stärke / Zucker
0,25	26 ± 1,0	11,29 ± 0,3	43,4	0,365 ± 0,01	1,40	30,9
0,50	23,9 ± 0,1	9,67 ± 0,06	41,7	0,293 ± 0,01	1,26	33,0
1,25	21,5 ± 0,6	7,77 ± 0,4	36,1	0,320 ± 0,02	1,49	24,3
2,00	18,5 ± 0,5	5,92 ± 0,2	32,0	0,363 ± 0,01	1,97	16,3

halten vermochte, während, wie schon erwähnt, die Gerste bei der obersten N-Gabe noch einen durchaus gesunden Eindruck machte und eine gleichbleibende Kornzahl aufwies.

Betrachten wir den Zuckergehalt beim Hafer, so finden wir gegenüber der Gerste wesentliche Unterschiede. Der absolute Zuckerwert fällt von der ersten zur zweiten N-Gabe, um dann wieder bis zur vierten Gabe auf den ersten Wert anzusteigen. Die Prozentwerte verlaufen mit den absoluten gleichsinnig. Da das Ein-Korngewicht in der vierten Reihe erheblich herabgesetzt ist, nimmt der relative Zuckergehalt dort einen beachtlich hohen Wert an. Das Verhältnis Stärke : Zucker ist in der zweiten Reihe am höchsten, während es bei der Gerste hier am niedrigsten war. Bei der dritten und vierten Reihe nimmt es infolge des stark abfallenden Stärkegehaltes und der zunehmenden Zuckerwerte sehr ab, so daß die Verhältnisse gegenüber der Gerste von der zweiten Reihe an umgekehrt liegen.

Vergleichen wir wieder die Beziehung Stärke : Zucker mit dem Verhältnis Eiweiß : löslichem N, so stellen wir gleichfalls in der zweiten Reihe das Optimum fest (s. Tab. 8); auch liegt bei dieser Düngung das günstigste Stroh-Kornverhältnis vor, was zeigen mag, daß die Pflanzen in mancher Hinsicht am besten ausgebildet sind, obgleich sie nicht die höchsten Erträge lieferten.

Die Beziehungen der unlöslichen und löslichen Kohlehydrate zueinander sind beim Hafer von der N-Düngung in höherem Maße abhängig als die der N-Verbindungen. In der dritten und vierten Reihe nimmt, wie eben erwähnt, das Verhältnis Stärke : Zucker jedesmal stark ab, wogegen nach Tabelle 8 das Verhältnis Eiweiß : löslichem N praktisch den gleichen Wert hat und gegenüber der zweiten Reihe, wenn auch deutlich, so doch nur verhältnismäßig wenig vermindert ist.

Flieg (24) fand bei Untersuchung des Stickstoff- und Zuckergehaltes von Blättern, u. a. des Hafers, bei erhöhtem Gesamt- und Eiweiß-N regelmäßig eine Abnahme der löslichen Kohlehydrate und machte nach der allgemein verbreiteten Ansicht die naheliegende Annahme, daß die Zucker zum Aufbau des Eiweißes verwandt worden seien.

Die Verhältnisse im Korn wurden aber bei den vorliegenden Versuchen durch das Übermaß an Stickstoff in der Düngung und die daraus sich ergebende ungünstige Beeinflussung der Entwicklung der ganzen Pflanze erheblich verändert. Wir sahen, daß gerade im Gegenteil mit Anstieg der relativen Zuckermenge auch die Menge der löslichen N-Verbindungen zunahm. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß die normale Beziehung zwischen C- und N-Verbindungen gestört war, und daß die ungünstige Entwicklung der Pflanze zur gleichzeitigen Bildung löslicher N- und C-Verbindungen geführt hatte.

4. Rohfaser.

Gruntuch (25) wies im Jahre 1929 darauf hin, daß der Zellulosegehalt vielleicht eine brauchbare Bezugsgröße für die Untersuchung des N-Stoffwechsels der Kartoffelknolle sei. Er nahm also an, daß die Zellulosemenge von Außeneinflüssen unabhängig sei. Rahn 16) wandte dann bei seinen Untersuchungen den Rohfaser-Gehalt als Bezugsgröße an. Nach seinen Beobachtungen ist die Rohfaser, die im wesentlichen aus Zellulose besteht, im Verlaufe des Wachstums tatsächlich eine Konstante. Da sie naturgemäß von großer Bedeutung für die Güte des Kornes ist, suchten wir festzustellen, ob sie durch die Düngung beeinflußt werden kann. Wir konnten dabei die Annahme von Rahn weitgehend bestätigen.

Bei der Gerste erhielten wir in der N-Reihe einen konstanten absoluten Rohfaserwert von 2,14 mg je Korn, obgleich das Korngewicht zwischen 31,3 und 34,6 mg schwankte. Auch beim Hafer war die absolute Rohfasermenge durchaus konstant. Sie betrug hier 2,50 mg bei einem Ein-Korngewicht von 18,5–26,0 mg! Der Prozentgehalt zeigt naturgemäß bei beiden Getreidearten eine deutliche Beeinflussung, die durch die Veränderungen des Ein-Korngewichtes bedingt sind.

Wodurch kommt die Konstanz des Rohfasergehaltes zustande? Das Primäre bei der Fruchtbildung ist die Anlage des Fruchtknotengehäuses mit der Samenanlage darin. Ein in dieser Hinsicht sehr wichtiger Faktor ist bei Gerste und Hafer auch die Beteiligung der Spelzen am Aufbau des Gehäuses. Die Ausbildung dieser zellulosereichen, peripheren Teile der Frucht, die im wesentlichen die Rohfaser ausmachen, scheint nun von der Düngung weitgehend unabhängig zu sein. Wie wir noch sehen werden, haben auch Mg, Ca und z. T. auch K keinen Einfluß darauf. Dagegen werden die inneren Teile der Frucht, also vor allem das Endosperm, in ganz bedeutendem Maße von der Düngung beeinflußt. Wir mögen an diesem Beispiel die außerordentlich große Bedeutung der mineralischen Nährstoffe für die Einlagerung der organischen Assimilate in den Körnern ermessen. In der Menge und Beschaffenheit dieser Assimilate in der Frucht spiegelt sich der Einfluß der mineralischen Elemente auf den organischen Stoffwechsel in der Pflanze auf das deutlichste wider.

5. Das Verhältnis Stärke zu Eiweiß.

Das Verhältnis Stärke zu Eiweiß dürfte für die Güte des Korns von ausschlaggebender Bedeutung sein. Allerdings ist es kein

alleiniger Gradmesser für die anzuwendende Düngung, weil dabei auch in weitem Maße die Ertragszahlen zu berücksichtigen sind.

Wieweit dieses Verhältnis durch verschiedene Düngung geändert werden kann, geht besonders klar aus den Werten der N-Reihe hervor. Diese Werte zeigen, wie kaum andere, die beherrschende Stellung, die der Stickstoff im Stoffwechsel der Pflanze

Tabelle 11.

N-Düngung und Stärke:Eiweiß-Verhältnis bei Gerste.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g N	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,25	53,0	1,00	6,3	53,8
0,50	52,6	1,10	6,5	47,8
1,00	50,2	1,60	6,9	31,3
1,50	48,6	1,80	6,8	27,1

Tabelle 12.

N-Düngung und Stärke:Eiweiß-Verhältnis bei Hafer.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g N	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,25	43,4	1,1	9,7	38,5
0,50	41,7	1,2	10,8	34,7
1,25	36,1	2,0	11,6	17,7
2,00	32,0	3,1	13,6	10,2

einnimmt. Ganz besonders schön zeigen sie, wie deutlich sich die Beziehungen zwischen C- und N-Verbindungen selbst in den Körnern bemerkbar machen. Bei der Gerste nimmt der Quotient von der ersten bis zur vierten Reihe von 53,8 auf 27,1 ab, wobei nochmals darauf hingewiesen sei, daß in der obersten Reihe keine Schädigung infolge N-Überschusses eingetreten war. Noch bedeutender sind die Unterschiede beim Hafer. Hier sinkt das Verhältnis von 38,5 in der 1. auf 10,2 in der 4. Reihe. Auf die Prozentwerte näher einzugehen, erübrigt sich. Der Eiweißgehalt steigt und der Stärkegehalt fällt mit zunehmender N-Düngung. Wie die absoluten Eiweißwerte, so ist auch der Prozentgehalt in den beiden unteren Reihen gleich.

6. Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf.

Zum Schluß seien noch die Gesamternten an Eiweiß und Stärke je Topf gebracht, welche besonders praktisches Interesse besitzen. Der Eiweißertrag wurde auf Eiweiß-N und Gesamt-N durch Multiplikation mit 6,25 errechnet, um zu zeigen, welche Fehler entstehen, wenn man, wie es vielfach geschieht, Gesamt- gleich Eiweiß-N setzt. Gegenüber den Werten für das einzelne Korn treten dabei große Unterschiede auf. Der Eiweißgehalt ist bei Bezugnahme auf

Tabelle 13.
N-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf bei der Gerste.

Düngung N g	Gesamt-Kornertrag g	Eiweiß berechnet aus		Stärke g
		Gesamt-N g	Eiweiß-N g	
0,25	11,2 ± 1,6	0,730 ± 0,019	0,680 ± 0,016	5,92 ± 1,02
0,50	23,1 ± 0,4	1,69 ± 0,04	1,59 ± 0,04	12,2 ± 0,1
1,00	27,5 ± 0,6	2,91 ± 0,09	2,74 ± 0,08	13,8 ± 0,4
1,50	30,8 ± 1,0	3,61 ± 0,05	3,44 ± 0,04	14,9 ± 0,5

Tabelle 14.
N-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf beim Hafer.

Düngung N g	Gesamt-Kornertrag g	Eiweiß errechnet aus		Stärke g
		Gesamt-N g	Eiweiß-N g	
0,25	13,5 ± 0,9	1,03 ± 0,02	0,951 ± 0,024	5,89 ± 0,48
0,50	26,2 ± 0,3	2,07 ± 0,01	1,94 ± 0,01	10,9 ± 0,2
1,25	32,9 ± 1,0	4,48 ± 0,19	4,18 ± 0,18	11,9 ± 0,9
2,00	19,5 ± 1,3	4,10 ± 0,26	3,85 ± 0,21	6,28 ± 0,30

das Einkorngewicht bei der Gerste und beim Hafer in der ersten und zweiten Reihe gleich, der Gesamteiweißertrag eines Topfes ist dagegen auf das doppelte gestiegen, weil sich der Kornertrag im selben Grade erhöht. Bei der Gerste steigen alle Werte bis zur vierten Reihe an, beim Hafer finden wir in der obersten Reihe trotz der starken Zunahme des Eiweißgehaltes im Einzelkorn eine Abnahme im Gesamtertrag, weil weniger Korner ausgebildet wurden; der Stärkegehalt nimmt in dieser Reihe noch weit mehr ab. Zweifellos war die dritte Gabe die gunstigste fur die Gesamteiweiß- und Stärkeerträge.

c) K-Reihe.

1. Düngung und Ertrage.

Bei der Gerste erhielt jedes Gefaß außer der Grunddungung 1,0 g N = 2,86 g NH_4NO_3, 0,089 g Mg = 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,233 g Ca = 1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$.

Ferner wurden 4 K-Gaben gegeben 0,25, 0,50, 1,0 und 2,0 g als K_2SO_4.

Beim Hafer bekam jedes Gefaß zu der Grunddungung 1,25 g N = 3,575 g NH_4NO_3, 0,0356 g Mg = 0,36 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,233 g Ca = 1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ Dazu kamen die gleichen 4 K-Abstufungen wie bei der Gerste.

Aus den Tabellen 15—18 geht deutlich der Einfluß des Kaliums auf die Entwicklung der Gerste wie auch des Hafers hervor. Bei der Gerste hat die Erhöhung der K-Gabe von 0,25 auf 0,5 g zur Folge: eine geringfügige Zunahme der Bestockung, eine gut 30%ige Vermehrung des Strohgewichtes und der Kornzahl je Topf und fast eine Verdreifachung des je Topf geernteten Korngewichtes. Der einzelne Halm vermehrt sein Gewicht nur um etwa 20%; um den gleichen Betrag steigt die Kornzahl je Ahre an, während das Korngewicht je Ähre fast um 170% zunimmt. Das Ein-

Tabelle 15.
K-Düngung und Erträge bei Gerste.

Düngung g K	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in einer Ähre	Ein-Korngew. mg	Korngewicht je Ähre mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Stroh / Korn
0,25	54	708	13,1	15,0	196	10,56	406	21,9	2,07
	± 1,5	± 13,6	± 0,7	± 0,9	± 3,5	± 0,8		± 0,8	
0,50	61	939	15,5	33,2	514	31,12	482	29,4	0,95
	± 0,9	± 3,9	± 0,2	± 0,5	± 12,4	± 0,4		± 0,3	
1,00	70	879	12,6	31,3	392	27,51	386	27,0	0,98
	± 1,5	± 18,2	± 0,5	± 0,8	± 7	± 0,6		± 0,9	
2,00	68	766	11,3	32,6	367	25,0	407	27,7	1,11
	3,2	± 53,8	± 0,8	± 0,9	± 27	± 1,7		± 0,9	

Tabelle 16.

K-Gabe	Bestokkung %	Kornzahl gesamt %	Kornzahl je Ähre %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Ähre %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	113	133	118	221	262	295	119	134
400	130	124	96,2	209	200	261	95,1	123
800	126	108	86,3	217	187	237	100	126

Korngewicht steigt um etwa 120% an. Die bedeutende Verbesserung der Gesamtkornernte ist somit in der Hauptsache auf die Ausbildung dickerer Körner, erst in zweiter Linie auf die Zunahme der Bestockung und der Kornzahl in der einzelnen Ähre zurückzuführen. Die weitere Steigerung der K-Gabe von 0,50 auf 1,0 g hat wohl noch die Bestockung weiter gefördert, in bezug aber auf Körnerzahl und Korngewicht sind bereits wieder Rückgänge eingetreten. Das ist noch mehr der Fall bei der höchsten K-Gabe. Immer noch sind aber Ein-Korn- und Gesamtkorngewicht denen bei der kleinsten Gabe weit überlegen.

Tabelle 17.
K-Düngung und Erträge bei Hafer.

Düngung g K	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in einer Rispe	Ein-Korngewicht	Korngewicht je Rispe mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Stroh / Korn
0,25	29	1435	49,6	16,3	808	23,33	1459	42,3	1,81
	± 1	± 56	± 1,9	± 1,3	± 61	± 1,04		± 1,1	
0,50	29	1418	49,0	21,6	1048	30,40	1772	51,4	1,69
	± 1	± 96	± 0,7	± 0,3	± 21,0	± 4,05		± 0,7	
1,00	29,7	1524	51,3	21,5	1103	32,88	1700	50,5	1,55
	± 0,7	± 52	± 2,5	0,6	± 39	± 1,02		± 1,7	
2,00	31,7	1475	46,7	20,4	952	30,0	1603	50,8	1,70
	± 0,7	± 76	± 3,7	± 0,4	± 58	± 1,24		± 1,4	

Der Hafer antwortet augenscheinlich bedeutend schwächer auf das K in der Düngung. Eine nennenswerte Wirkung war eigentlich nur auf das Ein-Korngewicht festzustellen, das durch die zweite und

Tabelle 18.

K-Gabe	Bestokkung %	Kornzahl gesamt %	Kornzahl je Rispe %	Einkorngewicht %	Korngewicht		Strohgewicht	
					je Rispe %	je Topf %	je Halm %	je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	100	98,8	98,8	133	190	130	121	122
400	102	106	103	132	137	141	117	119
800	109	103	94,2	125	118	129	110	120

dritte K-Gabe um etwa 30% erhöht wurde. Die Folge war naturgemäß eine entsprechende Erhöhung des Korngewichtes je Rispe und je Topf. Bei der höchsten K-Gabe war dieser fördernde Einfluß nicht mehr ganz so deutlich.

Worauf das größere Reaktionsvermögen der Gerste zurückzuführen ist, läßt sich mit Sicherheit nicht sagen. Bekanntlich stellt diese Pflanze höhere Ansprüche an das Kalium als der Hafer, bei dem relativ mehr Stickstoff gegeben werden muß. Möglicherweise liegt hier ein bedeutsamer Grund für das unterschiedliche Verhalten beider Pflanzen. Zur Entfaltung optimaler Wirkungen braucht die Gerste viel größere Mengen von Kalium als der Hafer. Vielleicht wären auch beim Hafer stärkere Abstufungen in der Wirkung zu beobachten gewesen, wenn die K-Gaben noch unter 0,25 g je Topf gelegen hätten.

Bei beiden Getreidearten ist das Stroh : Kornverhältnis deutlich beeinflußt. Die günstigsten Ergebnisse liegen in beiden Fällen bei der zweiten und dritten Reihe vor.

Gefäßversuche, die von der Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikates (20, S. 310) mit natürlichem Boden und steigender K-Düngung angestellt wurden, ergaben für Hafer keine eindeutige Beziehung. Dieses Ergebnis wird darauf zurückgeführt, daß bei Benutzung von natürlichen Boden das Nährstoffverhältnis der Düngung durch die Bodennährstoffe verändert wird.

2. N-Verbindungen.

Pröpsting (1) fand bei Bezugnahme auf das Trockengewicht und ebenso Wimmer und Lüdecke[3]) (8) bei Bezugnahme auf Lufttrockengewicht den Gesamt-N-Gehalt der Körner bei K-Mangel stark erhöht. Sie bestätigen die von anderen Forschern (26, 27) bei Blättern verschiedener Pflanzen erhaltenen Ergebnisse. Die von mir gewonnenen absoluten Zahlen zeigen aber, daß der N im Korn bei K-Mangel nicht zu-, sondern abnimmt. Die Vermutung Pröpstings (1), daß der erhöhte relative Eiweißgehalt einzig und allein auf der Unzulänglichkeit der Trockensubstanz als Bezugsgröße beruhe, findet sich durch meine Ergebnisse voll bestätigt. Die Trockensubstanz (das Einkorngewicht) in der K_1-Reihe ist nämlich nur etwa halb so groß wie in der K_2-Reihe, während der N-Gehalt ungefähr bei 80% des Wertes für die zweite K-Gabe liegt. Die Trockensubstanz hat also mehr abgenommen als der N-Gehalt. Infolgedessen muß es bei den Prozentwerten zu einer Zunahme des N-Wertes bei Kaliummangel kommen.

[3]) Bei W. u. L. Gesamt-N · 6,25 = Eiweißgehalt angegeben.

Tabelle 19.

K-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner. (Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g K	Ein-Korn-gewicht mg	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,25	15,0	0,440	0,3989	0,0411	0,0123	0,0282
	0,9	± 0,040	0,0363	± 0,0037	± 0,0008	± 0,0026
0,50	33,2	0,561	0,5318	0,0302	0,0071	0,0231
	± 0,5	0,012	± 0,0134	± 0,0001	± 0,0001	± 0,0001
1,00	31,3	0,531	0,5012	0,0295	0,0056	0,0239
	0,8	± 0,020	0,0270	± 0,0007	± 0,0001	± 0,0005
2,00	32,6	0,556	0,5281	0,0279	0,0055	0,0223
	0,9	0,041	± 0,0411	± 0,0006	± 0,0002	± 0,0004

Was den erhöhten N-Gehalt in der an K-Mangel leidenden grünen Pflanze betrifft, führte Schmalfuß (27, 3) diese Erscheinung auf die verschieden starke Beeinflussung von Sproß und Wurzeln zurück. Er fand nämlich, daß K-Mangel das Wachstum der Wurzeln kaum beeinflußt, der Sproß dagegen sehr gehemmt wird. Infolgedessen nehmen die Wurzeln mehr N auf als der Sproß braucht, wodurch es zu einer Anhäufung von Stickstoff in den Blättern kommt. Bezog Schmalfuß die aufgenommenen N-Mengen auf das Wurzelgewicht, so stellte sich heraus, daß die Wurzeln bei K-Mangel weniger Stickstoff aufnahmen als bei normaler Versorgung mit diesem Nährstoff. Rippel (28) wie auch Burström (29, Tab. 53, S. 249) beobachteten dagegen eine geringe relative Vermehrung des Sproßanteiles gegenüber den Wurzeln bei schlechter K-Versorgung. Bei Burström wird der Quotient Sproß : Wurzel mit steigender K-Gabe zunächst herabgesetzt, der Sproßanteil nimmt erst wieder zu, nachdem die Pflanzen offenbar infolge zu hoher K-Gabe im Wachstum gehemmt sind und das Sproßgewicht, absolut genommen, zurückgeht. Die Versuche von Wimmer und Lüdecke (8, S. 131 ff.) führten zu keinem eindeutigen Ergebnis.

Nach dem Vorstehenden wird also der Wurzelanteil der Pflanze augenscheinlich nicht immer gleichmäßig durch K-Mangel beeinflußt. Andererseits hat sich bisher in allen Fällen eine relative Zunahme des N in Blättern feststellen lassen, so daß es nicht möglich erscheint, dieses Verhalten allein als vom Wurzelgewicht abhängig zu betrachten. M. E. lassen sich diese Ergebnisse genau so erklären wie bei den Körnern der von mir untersuchten Pflanzen: Infolge des K-Mangels ist die Ausbildung der ganzen Pflanze, naturgemäß auch der Blätter, gehemmt, und zwar die Bildung der Gesamttrockensubstanz mehr als die der N-Verbindungen. Dadurch kommt es zur Zunahme des auf Trockensubstanz bezogenen Stickstoffs. Auch ist bei derartig schlecht entwickelten Pflanzen der N im Boden relativ im Überschuß vorhanden, und es kommt genau wie bei N-Überschußpflanzen zu einer relativ stärkeren Aufnahme dieses Stoffes. Von diesem Gesichtspunkt aus scheint mir die Gleichsetzung von K-Mangel und N-Überschußpflanzen besonders berechtigt.

Wenn man die einzelnen N-Fraktionen betrachtet, so fällt auf, daß die Erniedrigung des Gesamt-N in der untersten K-Reihe nur auf Kosten des Eiweiß vor sich gegangen ist. Der lösliche N ist sogar noch erhöht, was in gleicher Weise dem Amid- wie dem Rest-N zugute kommt. Die drei oberen K-Reihen zeigen keine

wesentlichen Unterschiede; das Optimum ist schon bei der zweiten Gabe von 0,5 g K erreicht und wird selbst bei Erhöhung auf 2,0 g K nicht verändert, obgleich wie schon bemerkt, der Gesamtertrag deutlich absinkt.

Gut ergänzt werden die absoluten wieder durch die auf Gesamt- und löslichen Stickstoff bezogenen Werte. Dabei tritt die Verringerung des Eiweiß und die Zunahme des löslichen N bei K-

Tabelle 20.

K-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner. (Zahlen links oben bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf löslichen N.)

Düngung g K	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N
0,25	90,7	9,3	2,8		6,5		9,7
0,50	94,8	5,2	1,3	30,0	3,9	70,0	17,6
1,00	94,4	5,6	1,1	23,5	4,5	76,5	17,0
2,00	95,0	5,0	1,0	19,0	4,0	81,0	18,6
				19,7		80,3	

Mangel besonders klar hervor, ebenso der Anstieg des Amid-N in der untersten Reihe. Die drei folgenden Reihen weisen auch jetzt keine ins Gewicht fallenden Verschiedenheiten auf.

Die von Propsting (1) festgestellte Wirkung des K-Mangels auf die Beschaffenheit des N im Gerstenkorn wurde somit von mir völlig bestätigt, obschon ich teilweise eine ganz andere Düngung anwandte, und die äußeren Faktoren sicherlich verschieden waren.

Turtschin (4) fand bei Sandkulturen im Gerstenkorn eine noch extremere Beeinflussung durch Kalium. Für K-Mangel teilt er einen weit höheren Gehalt an „Nicht-Eiweiß-N" mit (entspricht etwa dem löslichen N), so daß das Verhältnis Eiweiß : „Nicht-Eiweiß-N" sehr eng ist. Bei guter K-Versorgung stellte er einen praktisch völlig verschwindenden Gehalt an „Nicht-Eiweiß-N" fest.

Dieser quantitative Unterschied zu unseren Versuchen mag durch Sorteneigentümlichkeiten, klimatische und andere Faktoren bedingt sein. Grundsätzlich stimmen Turtschins Ergebnisse jedenfalls mit den unsrigen überein.

Tabelle 21.

K-Düngung und N-Gehalt der Haferkörner. (Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g K	Ein-Korn-gewicht mg	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,25	16,3	0,3981	0,3736	0,0246	0,0074	0,0172
	± 1,3	± 0,0108	± 0,0103	± 0,0005	0,0002	± 0,0004
0,50	21,6	0,5108	0,4768	0,0340	0,0088	0,0252
	± 0,3	± 0,0325	± 0,0315	± 0,0011	± 0,0005	0,0008
1,00	21,5	0,4701	0,4386	0,0316	0,0082	0,0234
	± 0,6	± 0,0045	± 0,0050	± 0,0004	± 0,0004	± 0,0009
2,00	20,4	0,4589	0,4290	0,0300	0,0086	0,0214
	± 0,4	± 0,0119	0,0114	0,0006	± 0,0008	0,0005

Der Hafer zeigt in seinem Verhalten nicht in allen Punkten mit der Gerste Übereinstimmung. Der Gesamt-N-Gehalt ist bei den Körnern der untersten gegenüber der zweiten Reihe deutlich vermindert. Da aber das Ein-Korngewicht fast um denselben Betrag herabsinkt wie der N-Gehalt, sind bei Bezugnahme auf das Trockengewicht kaum Unterschiede vorhanden.

Jacob (30) fand in Gefaßversuchen keinen Einfluß des K auf den N-Gehalt des Haferkornes. Da er nur Prozentzahlen angibt, besteht die Moglichkeit, daß er aus dem eben angefuhrten Grunde keine Unterschiede feststellen konnte. Zum anderen war die unterste K-Gabe mit 1 g K_2O gleich 0,83 g K so hoch, daß eventuell das Optimum schon uberschritten wurde, bei meinen Versuchen genugten namlich 0,5 g K, um den höchsten N-Wert zu erreichen. Bei der 3. und 4. Gabe findet jedesmal eine deutliche Herabsetzung statt. Dasselbe beobachten wir beim Eiweiß- und loslichen N. Die zweite K-Reihe erreicht sowohl den höchsten absoluten Gehalt an Eiweiß- wie auch an loslichem Stickstoff. Im Gegensatz zur Gerste ist auch bei der kleinsten K-Gabe der lösliche N ebenso wie das Eiweiß stark vermindert. Die höheren K-Konzentrationen der dritten und vierten Reihe wirkten ebenfalls auf beide Fraktionen deutlich vermindernd. Der Rest-N zeigt dieselben Erscheinungen, wahrend der Amid-N bei K-Mangel nur wenig abgenommen hat.

Tabelle 22.

K-Düngung und N-Gehalt der Haferkorner.

(Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf loslichen N.)

Düngung g K	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N.
0,25	93,8	6,2	1,9	30,1	4,3	69,9	15,2
0,50	93,3	6,7	1,6	26,0	5,1	74,0	14,0
1,00	93,3	6,7	1,8	25,9	5,0	74,1	13,9
2,00	93,5	6,5	1,9	28,7	4,6	71,3	14,3

Die auf Gesamt- und loslichen N bezogenen Zahlen sind dementsprechend von denen der Gerste ebenfalls ziemlich verschieden. Aus allen Zahlen spricht eine größere Stabilität des Hafers gegenuber den Wirkungen des Kalium. . Da bei der untersten K-Gabe die absoluten Mengen des Eiweiß- und des löslichen N etwa im gleichen Maße herabgesetzt sind, kommt es zu keiner wesentlichen Verschiebung des Verhältnisses Eiweiß : loslichem N. Innerhalb der Fraktionen des löslichen N bemerken wir jedoch leichte Verschiebungen. Die Amid-N-Menge ist bei der untersten K-Gabe gegenüber der zweiten deutlich heraufgesetzt, die Rest-N-Menge entsprechend vermindert. In diesen Veränderungen stimmt der Hafer mit der Gerste uberein, und man kann in ihnen Andeutungen für Vorgänge erblicken, die wie bei der Gerste erklärt werden können. Durch K-Gaben von 1 g und darüber wird die Amid-Fraktion ebenfalls erhöht, aber nicht in dem Maße wie bei K-Mangel.

Es wurde auf Seite 146 im geringen K-Bedürfnis bereits eine Erklärung für das schwache Reaktionsvermögen des Hafers in morphologischer Hinsicht gesucht: die gewählten K-Gaben waren womöglich zu hoch, um größere Unterschiede zu bewirken. Bei einer Staffelung noch unter 0,25 g K je Topf wären vielleicht auch die typischen Wirkungen des K-Mangels auf die N-Fraktionen in Erscheinung getreten.

3. Kohlehydrate.

Die große Zahl der Arbeiten, die sich mit dem Einfluß des K auf den Kohlehydrat-Haushalt befaßt, zeigt schon, daß es bisher noch nicht gelungen ist, festzustellen, wo die primäre Wirkung des K einsetzt. Wie schon das niedrige Ein-Korngewicht verrät, ist in meinen Versuchen mit Gerste bei K-Mangel der Stärkegehalt in hohem Maße herabgesetzt.

In ähnlicher Weise stellten auch Wimmer und Lüdecke (8) bei drei verschiedenen Gerstensorten eine Beeinflussung des Stärkegehaltes fest. Bezüglich weiterer Angaben sei auf die Monographie von Schmalfuß (3) über das K-Problem hingewiesen, in der das Schrifttum bis 1935 berücksichtigt ist.

Schon eingangs wurde darauf aufmerksam gemacht, daß die starke Abnahme des Ein-Korngewichtes bei Bezugnahme auf das Trockengewicht zu falschen Folgerungen hinsichtlich des N-Umsatzes führen kann. Die in Tabelle 23 mitgeteilten Zahlen zeigen, daß einzig und allein die Verminderung des absoluten Stärkegehaltes für die Trockensubstanzabnahme verantwortlich zu machen ist. Die günstigste Wirkung ist schon bei der Düngung von 0,5 g K etwa erreicht, eine weitere Steigerung der K-Menge bleibt wirkungslos. Auch die Menge der Zucker nimmt von der 1. zur 2. K-Gabe bedeutend zu, bei weiterer Erhöhung des Kaliums in der Düngung treten jedoch keine Veränderungen mehr auf.

Bei Bezugnahme auf das Lufttrockengewicht erhalten wir, wie das von vielen Autoren bei Blättern und anderen Pflanzenteilen festgestellt wurde, einen Anstieg des Gehaltes an löslichen Zuckerverbindungen, weil das Ein-Korngewicht bei der untersten K-Gabe stärker abgenommen hat als der absolute Zuckergehalt und nur

Tabelle 23.
K-Düngung und Kohlehydrate im Gerstenkorn.
(Zahlen mit Mittelwerten = mg in einem Korn. Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung mg K	Ein-Korngewicht	Stärke mg	Stärke %	Zucker mg	Zucker %	Stärke / Zucker
0,25	15,0 ± 0,9	5,23 ± 0,2	34,9	0,360 ± 0,02	2,40	14,5
0,50	33,2 ± 0,5	16,48 ± 0,4	49,6	0,587 ± 0,03	1,70	28,1
1,00	31,3 ± 0,8	15,7 ± 0,7	50,2	0,563 ± 0,024	1,80	27,9
2,60	32,6 ± 0,9	16,4 ± 0,5	50,3	0,593 ± 0,01	1,82	27,6

etwa 45% des Wertes für K_2 beträgt, während der Zuckerwert immerhin noch rund 61% ausmacht. Es liegen demnach hier Verhältnisse vor, die denen bei den N-Verbindungen sehr ähnlich sind. Da der Stärkegehalt noch mehr als das Ein-Korngewicht abgenommen hat, kommt es zu dem ausnehmend schlechten Verhältnis Stärke : Zucker von 14,5 : 1, das sonst in keinem meiner Versuche beobachtet wurde.

Die relative Zunahme der löslichen Kohlehydrate und die Abnahme des Stärkegehaltes zeigen, daß die an grünen Pflanzen gemachten Beobachtungen (3, 4, 5) auch beim Korn zutreffen.

Ebensowenig wie der Stärkegehalt konnte der Zuckerwert durch eine Düngung von mehr als 0,5 g K noch nennenswert verändert werden. In unseren Versuchen reicht also diese K-Menge aus, um in jeder Beziehung normale Gerstenkörner auszubilden.

Der Hafer zeigt ebenfalls den Einfluß der K-Düngung auf den Stärkegehalt, zwar ist er, worauf schon die Werte für das Ein-Korngewicht hindeuten, bei weitem nicht so stark wie bei der Gerste, aber doch deutlich. Wiederum ist bei der zweiten K-Gabe der höchste Wert erreicht. Die weitere Steigerung der Düngung auf 1,0 bzw. 2,0 g K bewirkt sogar parallel zu dem Verhalten des

Tabelle 24.

K-Düngung und Kohlehydrate im Haferkorn.
(Zahlen mit Mittelwerten — mg in einem Korn. Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung mgK	Ein-Korn-gewicht mg	Stärke		Zucker		Stärke / Zucker
		mg	%	mg	%	
0,25	16,3 ± 1,3	5,51 ± 0,5	33,8	0,250 ± 0,01	1,53	22,0
0,50	21,6 ± 0,3	7,87 ± 0,3	36,4	0,297 ± 0,01	1,38	26,5
1,00	21,5 ± 0,6	7,77 ± 0,4	35,7	0,320 ± 0,02	1,49	24,3
2,00	20,4 ± 0,4	7,28 ± 0,1	35,7	0,287 ± 0,01	1,41	25,4

Gesamt- und Eiweiß-N eine geringe Abnahme. Die auf das Einzelkorn bezogenen und die Prozentzahlen verlaufen gleichsinnig, nur ist wie bei der Gerste der Unterschied zwischen der K_1- und der K_2-Reihe bei den Prozentwerten nicht so groß. Der absolute Zuckergehalt ist gleichfalls durch die unterste K-Gabe herabgesetzt, in Übereinstimmung mit den Befunden bei der Gerste und dem Verhalten des löslichen N beim Hafer; der relative Gehalt ist dagegen etwas angestiegen. Eine Steigerung der Düngung über 0,5 g K wirkt sich in keiner Weise aus. Das Verhältnis Stärke : Zucker ist bei 0,25 g K aus den gleichen wie bei der Gerste angeführten Gründen kleiner geworden.

Ein Vergleich mit der Tabelle 22 läßt erkennen, daß beim Hafer das Verhältnis der unlöslichen zu den löslichen Verbindungen beim N und den Kohlehydraten nicht in gleicher Weise durch K-Mangel beeinflußt wird. Beim Stickstoff machte sich nämlich in der untersten K-Reihe kaum ein Einfluß bemerkbar. Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß der Kohlehydrat-Stoffwechsel bei

K-Mangel empfindlicher reagiert hat als der N-Stoffwechsel. Daß die Kohlehydrate keineswegs in jedem Falle durch Änderung in der Düngung stärker beeinflußt werden, sahen wir bei der N-Mangelreihe des Hafers, in der die Beziehung Eiweiß-N : löslichem N zugunsten des letzten verschoben war (Tab. 8), wogegen das Verhältnis Stärke : Zucker normal blieb.

4. Rohfaser.

Auch in den K-Reihen beträgt der absolute Rohfasergehalt bei der Gerste 2,14 mg je Korn. Nur in der K-Mangelreihe, in der das Ein-Korngewicht auf 15,0 mg, d. h. auf etwa die Hälfte des normalen Wertes gesunken ist, hat auch der absolute Rohfasergehalt abgenommen und beträgt 1,36 mg. Relativ hat er sogar zugenommen, da seine prozentuale Abnahme geringer ist als die des Ein-Korngewichtes (Tab. 25). Beim Hafer ist in Übereinstimmung mit seinem bisher geschilderten Verhalten gegenüber dem Kalium überhaupt keine Änderung der absoluten Rohfasermenge eingetreten, obgleich das Korngewicht zwischen 16,3 und 21,6 mg schwankte. Die auf Lufttrockensubstanz bezogenen Mengen sind dagegen auch bei ihm um so größer, je weniger K in der Düngung enthalten ist (Tab. 26).

5. Verhältnis Stärke : Eiweiß.

Bei der Gerste ist das Verhältnis Stärke : Eiweiß-N in der untersten K-Reihe sehr niedrig, eine Folge des ungewöhnlich stark verminderten absoluten Stärkegehaltes. Von 0,50 g K aufwärts hat die Düngung kaum noch einen Einfluß.

Beim Hafer hat das Kalium nur eine verhältnismäßig geringe Wirkung ausgeübt. Immerhin erkennt man den Anstieg des Stärke : Eiweiß-Quotienten mit zunehmender K-Gabe deutlich.

Tabelle 25.
K-Düngung und Stärke : Eiweiß-Verhältnis bei Gerste.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g K	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,25	34,9	2,7	9,2	13,1
0,50	49,2	1,6	6,5	31,0
1,00	50,2	1,6	6,9	31,3
2,00	50,3	1,6	6,6	31,1

Tabelle 26.
K-Düngung und Stärke : Eiweiß-Verhältnis bei Hafer.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g K	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,25	33,8	2,3	15,6	14,7
0,50	36,4	2,2	11,6	16,5
1,00	35,7	2,0	11,6	17,7
2,00	35,7	2,1	12,3	17,0

Bemerkenswert sind die beim Hafer im Vergleich zur Gerste erheblich niedrigeren Werte (von der untersten K-Gabe abgesehen). Der Grund hierfür ist in dem absolut wie auch relativ bedeutend höheren Stärkegehalt der Gerstenkörner zu suchen.

6. Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf:

Für die Praxis ist es, wie bereits gesagt wurde, wichtig zu erfahren, wie die Gesamterträge an Eiweiß und Stärke von der K-Düngung beeinflußt werden. Bei der Gerste sind die höchsten Eiweiß- und Stärkeerträge durch die Gabe von 0,5 g K erzielt worden; die Staffelung darüber hinaus, insbesondere die vierte Gabe, führte wieder zu Ertragsminderungen.

Beim Hafer haben die beiden mittleren K-Gaben die besten

Tabelle 27.

K-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf bei Gerste.

Düngung	Gesamt-Kornertrag	Eiweiß berechnet aus		Stärke
		Gesamt-N	Eiweiß-N	
g K	g	g	g	g
0,25	10,6 ± 0,8	1,93 ± 0,14	1,76 ± 0,13	3,81 ± 0,10
0,50	31,1 ± 0,4	3,30 ± 0,07	3,13 ± 0,04	15,5 ± 1,0
1,00	27,5 ± 0,6	2,91 ± 0,09	2,74 ± 0,08	13,8 ± 0,4
2,00	25,0 ± 1,7	2,63 ± 0,04	2,50 ± 0,04	12,6 ± 0,9

Tabelle 28.

K-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf beim Hafer.

Düngung	Gesamt-Kornertrag	Eiweiß berechnet aus		Stärke
		Gesamt-N	Eiweiß-N	
g K	g	g	g	g
0,25	23,3 ± 1,0	3,57 ± 0,04	3,34 ± 0,04	7,91 ± 0,43
0,50	30,4 ± 2,1	4,53 ± 0,19	4,22 ± 0,18	11,6 ± 1,3
1,00	32,9 ± 1,0	4,48 ± 0,19	4,18 ± 0,18	11,9 ± 0,9
2,00	30,0 ± 1,2	4,22 ± 0,15	3,94 ± 0,10	10,7 ± 0,5

Erträge an Eiweiß und Stärke erzielt. Bei der höchsten Gabe sind ebenfalls Rückgänge zu verzeichnen. Beachtlich ist, daß die Stärkeerträge bei der Gerste höher sind als beim Hafer, bei diesem dagegen die Eiweißerträge.

d) Ca-Reihe.

1. Düngung und Erträge.

Die bei den anderen Versuchsreihen gebrauchte Grunddüngung wurde wegen ihres hohen Ca-Karbonat- und Ca-Phosphat-Gehaltes abgeändert. Die Pflanzen erhielten je Topf, 1,00 g N als NH_4NO_3, 0,0712 g Mg als $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 1,00 g K = 0,48 g KH_2PO_4 + 1,92 g K_2HPO_4, 0,10 g $FeSO_4$, 0,10 g $MnSO_4$, 0,25 g NaCl, 0,10 g Ca = 0,25 g $CaCO_3$. Das K wurde zur besseren Stabilisierung des p_H-Wertes als Phosphatgemisch gegeben. Um auf alle Fälle eine Reaktionsverschiebung nach der sauren Seite zu verhindern, bekam jedes Gefäß 0,1 g Ca in Form des Karbonates. Darüber hinaus wurde das Ca wie folgt gestaffelt: 0,0232 g = 0,10 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 0,0928 g = 0,40 g

$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 0,232 g — 1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 0,696 g — 3 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Die Ca-Reihe des Hafers fiel aus, weil versäumt wurde, das K-Phosphat in kleinen Mengen zu geben, infolgedessen traten schwere Phosphatschäden auf. Bei der Gerste waren die Phosphatschäden, wie schon erwähnt, nur gering und bald überwunden.

Wie die Tabellen 29 und 30 zeigen, übte das Ca in der gegebenen Staffelung keinen großen Einfluß aus. Am günstigsten wirkte noch die Erhöhung der Ca-Menge von der 1. zur 2. Gabe, aber deutlich war eigentlich nur die Zunahme des Ein-Korngewichtes, während der einzelne Halm sogar etwas leichter wurde. Die Erhöhung der Ca-Gabe von 0,193 auf 0,332 g machte dagegen mit Ausnahme der Bestockung die Wirkungen der 2. Gabe wieder rückgängig. Kornzahl und Korngewicht je Ähre sowie das Strohgewicht des einzelnen Halmes lagen bis zu 10% unter den Werten der 1. Ca-Gabe. Die hohe Ca-Gabe schließlich führte mit Ausnahme der Bestockung zu einer beachtlichen Senkung fast aller Werte. Am ungünstigsten hatte sie sich auf das Korngewicht je Ähre ausgewirkt als Folge der starken Verminderung der Körnerzahl sowie des Ein-Korngewichtes. Eigenartig ist die deutliche Förderung der Bestockung durch die höchste Ca-Gabe, die aber den starken Ausfall an Korn und Stroh nicht wettmachen konnte. Pröpsting (1) erhielt bei 1,00 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, was ungefähr meiner 2. Gabe entspricht, übrigens auch den höchsten Körnertrag und das günstigste Verhältnis Stroh : Korn, obschon das Verhältnis Ca : K in seinen Versuchen ein anderes

Tabelle 29.

Ca-Düngung und Erträge bei Gerste

Düngung g Ca	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in 1 Ähre	Ein-Korngewicht mg	Korngewicht je Ähre mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Stroh / Korn
0,123	57 ± 1	897 ± 16	15,7 ± 0,3	30,9 ± 0,6	486,5 ± 18	27,81 ± 0,8	491	28,0 ± 0,5	1,01
0,193	60 ± 0	932 ± 15	15,6 ± 0,3	32,1 ± 0,3	498,4 ± 12	29,85 ± 0,7	480	28,8 ± 0,2	0,96
0,332	62 ± 0,8	871 ± 23	14,0 ± 0,5	31,4 ± 2,0	441,5 ± 44	27,33 ± 1,6	456	28,3 ± 0,5	1,04
0,796	71 ± 0,9	798 ± 42	11,2 ± 0,6	28,3 ± 1,3	317,1 ± 30	22,33 ± 2,3	361	25,6 ± 0,8	1,15

Tabelle 30.

Ca-Gabe %	Bestokkung %	Kornzahl je Topf %	Kornzahl je Ähre %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Ähre %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
157	105	104	99,4	104	102	107	97,7	103
270	109	98,1	89,3	102	90,8	98,3	92,9	101
647	125	90,0	71,3	91,6	65,2	80,3	73,5	91,4

Wir sehen, daß die Gerste schon mit der geringen Menge von 0,123 g Ca je Gefäß fast normale Erträge liefert. Schneidewind (31, S. 338) weist darauf hin, daß der Kalkbedarf der Getreidearten unter den Kulturpflanzen am geringsten sei. Dies zeigt sich in unseren Versuchen darin, daß das weite K : Ca-Verhältnis von 8 : 1 vertragen wurde.

2. N-Verbindungen.

Auch die Mengen der im Korn enthaltenen N-Verbindungen waren nur geringen Schwankungen unterworfen. Der höchste N-Gehalt ist in der zweiten und dritten Reihe vorhanden. In der untersten ist der Gesamt-N nur unbeträchtlich gesenkt, dagegen ist bei der höchsten Ca-Gabe die Abnahme deutlich. Während

Tabelle 31.

Ca-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner.
(Zahlen mg in einem Korn.)

Düngung g Ca	Ein-Korn-gewicht mg	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,123	30,9	0,559	0,5287	0,0306	0,0064	0,0243
	0,6	0,006	± 0,0058	0,0003	± 0,0001	± 0,0003
0,193	32,6	0,574	0,5453	0,0287	0,0059	0,0229
	0,3	0,0	0,0001	0,0001	± 0,0001	± 0,0001
0,332	31,4	0,568	0,5392	0,0284	0,0057	0,0227
	± 2,0	± 0,018	± 0,0161	± 0,0015	± 0,0005	± 0,0011
0,796	28,3	0,523	0,4957	0,0273	0,0059	0,0215
	1,3	0,006	± 0,0056	± 0,0005	± 0,0001	± 0,0004

Tabelle 32.

Ca-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner.
(Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf löslichen N.)

Düngung g Ca	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N
0,123	94,6	5,5	1,1	20,9	4,3	79,1	17,3
0,193	95	5,0	1,0	20,6	4,0	79,4	19
0,332	95	5,0	1,0	20,1	4,0	79,9	19
0,796	94,8	5,2	1,1	21,6	4,1	78,4	18,2

der Eiweißgehalt sich in gleicher Richtung wie der Gesamt-N verändert, finden wir den löslichen N bei der niedrigsten Ca-Düngung am höchsten und bei der höchsten Gabe am niedrigsten, wenngleich diese Tendenz auch nicht sehr stark ist. Dieses Verhalten des löslichen Stickstoffs spiegelt sich in den Werten für den Rest-N wider; der Amid-N zeigt keine klare Beeinflussung.

Entsprechend dem erhöhten absoluten Wert für den löslichen Stickstoff in der untersten Reihe finden wir bei den Prozentwerten in Tabelle 32 hier den Eiweißgehalt am niedrigsten und infolgedessen das ungünstigste Verhältnis Eiweiß- : löslichem N. Da der Unterschied gegen die zweite und dritte Reihe, welche die besten Werte lieferten, nicht groß ist, wohnt ihm keine sehr große Sicherheit inne.

3. Kohlehydrate:

Das gleiche Verhalten wie der Gesamt- und Eiweißstickstoff gegenüber der angewandten Ca-Düngung zeigt auch der Stärke-

Tabelle 33.

Ca-Düngung und Kohlehydrat im Gerstenkorn.
(Zahlen mit Mittelwerten = mg in einem Korn. Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g Ca	Ein-Korn-gewicht mg	Stärke mg	Stärke %	Zucker mg	Zucker %	Stärke / Zucker
0,123	30,9 ± 0,6	14,94 ± 0,4	48,3	0,577 ± 0,01	1,87	25,9
0,193	32,1 ± 0,3	15,71 ± 0,1	48,9	0,585 ± 0,01	1,82	26,9
0,332	31,4 ± 2,0	15,09 ± 1,4	48,1	0,583 ± 0,02	1,86	25,9
0,796	28,3 ± 1,3	13,40 ± 0,8	47,3	0,463 ± 0,02	1,64	28,9

gehalt. Alle Werte folgen in gleicher Weise den Schwankungen des Korngewichtes. Eine wirklich deutliche Veränderung der Stärkemenge tritt erst bei der höchsten Ca-Gabe auf. Parallel zum Korngewicht fällt der Stärkegehalt; die Prozentwerte verhalten sich ähnlich wie die absoluten. Bei den reduzierenden Zuckern stellen wir ein gleiches fest, in der vierten Reihe nehmen sie deutlich ab. Ferner erkennt man, daß die Zucker relativ stärker vermindert sind, als der Abnahme des Korngewichtes und des Stärkegehaltes entspricht. Eine Folge davon ist ein Anstieg des Verhältnisses Stärke : Zucker. Wenn man annimmt, daß der K : Ca-Antagonismus sich auch in der Weise bemerkbar macht, daß die Ca-Überschuß- den K-Mangelpflanzen entsprechen und infolge der relativen K-Armut die Hydratation der Plasmakolloide oder allgemeiner die Wasserbilanz der Zelle verschlechtert ist, was wiederum den Anstieg der löslichen Verbindungen bewirken soll, so müßte man entsprechend den Verhältnissen bei K-Mangel anstatt des tatsächlich gefundenen Rückganges des Zuckeranteiles eine Zunahme erwarten.

Ob meine Ergebnisse, betreffend die Zusammensetzung des Korns in Abhängigkeit von der Ca-Düngung, mit den Verhältnissen in den assimilierenden grünen Teilen der Pflanze übereinstimmen, ist nicht zu sagen, da m. W. keine Versuche darüber vorliegen.

4. Rohfaser.

Auch die Pflanzen der Ca-Reihe hatten eine konstante absolute Rohfasermenge von 2,14 mg je Korn aufzuweisen. Irgend ein Einfluß des Ca war nicht festzustellen. Wie die Tabelle 34 zeigt,

Tabelle 34.

Ca-Düngung und Stärke : Eiweiß-Verhältnis bei Gerste.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g Ca	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,123	48,3	1,7	6,9	28,3
0,193	48,9	1,7	6,65	28,8
0,332	48,1	1,7	6,9	28,0
0,796	47,3	1,8	7,6	27,0

ist mit Ausnahme der hohen Ca-Gabe auch der relative Rohfasergehalt unverändert.

5. Verhältnis Stärke : Eiweiß.

Durch die Ca-Düngung wurde in keinem Falle die Beziehung Stärke : Eiweiß verändert (Tab. 34). Dies ist deshalb nicht verwunderlich, weil sich auch bei allen anderen untersuchten Werten nur ein geringer Einfluß des Ca zeigt.

6. Erträge an Stärke und Eiweiß je Topf.

Tabelle 35.
Ca-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf bei der Gerste.

Düngung g Ca	Gesamt-Kornertrag g	Eiweiß berechnet aus Gesamt-N g	Eiweiß berechnet aus Eiweiß-N g	Stärke g
0,123	27,8 ± 0,8	3,13 ± 0,04	2,96 ± 0,03	13,4 ± 0,7
0,193	29,9 ± 0,7	3,34 ± 0,05	3,18 ± 0,05	14,6 ± 0,3
0,332	27,3 ± 1,6	3,09 ± 0,16	2,94 ± 0,14	13,2 ± 1,1
0,796	22,3 ± 2,3	2,61 ± 0,16	2,48 ± 0,15	10,7 ± 1,2

Aus der Tabelle 35 läßt sich entnehmen, daß die wesentlichste Wirkung der vierten Ca-Gabe zukommt. Sie übt in jeder Hinsicht einen nachteiligen Einfluß aus. Die höchsten Erträge an Korn, Eiweiß und Stärke liegen in der zweiten Reihe vor, die auch die größte Kornzahl aufweist.

e) Mg-Reihe.

1. Düngung und Erträge.

Die Gerste erhielt neben der Grunddüngung je Gefäß: 1,00 g N = 2,86 g NH_4NO_3, 0,233 g Ca = 1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 1,00 g K = 2,23 g K_2SO_4. Es wurden 4 Mg-Abstufungen gewählt 0,015, 0,030, 0,089 und 0,148 Mg als $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Der Hafer bekam außer der Grunddüngung: 1,25 g N = 3,575 g NH_4NO_3, 0,233 g Ca = 1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, 1,00 g K = 2,23 g K_2SO_4. Die 4 Mg-Gaben betrugen 0,005, 0,0178, 0,0356 und 0,0712 g Mg als $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

Wie aus den Werten der Tabelle 37 hervorgeht, reagierte die Gerste auf die Staffelung der Mg-Gabe überaus deutlich. Die Erhöhung von der 1. zur 2. Gabe führte zu einer starken Bestockung (Zunahme um etwa 75%). Die Folge davon war eine prozentual ebenso starke Zunahme der Kornzahl je Gefäß. Da aber auch die Kornzahl je Ähre (4%) sowie das Ein-Korngewicht (10%) zugenommen hatten, ist fast eine Verdoppelung des Korngewichtes je Topf zu verzeichnen. Eigenartigerweise wurde die Stroherernte je Topf trotz der bedeutenden Bestockung nicht verändert, was auf die beträchtliche Gewichtsabnahme (42,9%) des einzelnen Halmes zurückzuführen ist.

Die Steigerung der Mg-Menge von der 2. zur 3. Gabe wirkte sich noch stärker in genannter Richtung aus, so daß das je Gefäß geerntete Korngewicht auf das 3½fache anstieg. Diesmal wurde der Erfolg aber nicht mehr in dem Maße durch starke Zunahme der Bestockung (um 30%) erreicht, sondern auch durch beträchtliche Vermehrung der in einer Ähre enthaltenen Kornzahl (um 44%). Das Ein-Korngewicht hatte wiederum um zirka 10% zuge-

Tabelle 36.
Mg-Düngung und Erträge bei Gerste.

Düngung g Mg	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in einer Ähre	Ein-Korngewicht mg	Korngewicht je Ähre mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Stroh / Korn
0,015	34	300	8,7	26,4	229	7,82	618	21,0	2,69
	± 5	± 54	± 0,6	± 1,1	± 7	± 1,2		± 0,5	
0,030	60	532	8,8	29,0	256	15,4	353	21,2	1,38
	± 7	± 83	0,5	± 0,2	± 15	± 2,4		1,4	
0,089	70	879	12,6	31,3	392	27,5	386	27,0	0,98
	± 1,5	± 18	0,5	0,8	± 7	0,6		0,9	
0,148	64	891	14,0	34,6	484	30,84	467	29,9	0,97
	± 0,4	12	0,1	0,8	± 9	0,4		0,7	

Tabelle 37.

Mg-Gabe %	Bestokkung %	Kornzahl je Topf %	Kornzahl je Ähre %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Ähre %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	176	177	101	110	115	197	57,1	101
593	206	293	145	119	176	352	62,5	129
987	191	297	161	131	217	394	75,6	142

nommen. Die Strohernte nahm jetzt in gleichem Maße zu wie die Bestockung (um zirka 30%) und der einzelne Halm hatte sein Gewicht wieder etwas verbessert, aber immer noch blieb es um 37,5% hinter dem bei der untersten Mg-Gabe zurück.

Auch die letzte Steigerung der Mg-Menge bis zur höchsten Gabe führte noch zu beachtlichen Ertragsgewinnen, obgleich die Bestockung bereits leicht herabgedrückt war. Die hier gegenüber der vorletzten Gabe erreichten Mehrerträge verdanken in erster Linie dem weiteren Anwachsen der Körnerzahl (um 17%) in der Ähre ihren Ursprung, in zweiter Linie der weiteren Zunahme des Ein-Korngewichtes (um 12%). Die je Gefäß erhaltene Körnernte ist gegenüber der kleinen Mg-Gabe fast vervierfacht! Auch das Strohgewicht je Topf hat durch Erhöhung des Halmgewichtes von der höchsten Mg-Gabe noch Vorteile gezogen. Aber der einzelne Halm ist immer noch zirka 25% leichter als der in der untersten Mg-Reihe. Die 4. Mg-Reihe brachte, verglichen mit den andern Versuchsreihen, die besten Erträge. Das Ein-Korngewicht liegt genau so hoch wie bei der kleinsten N-Gabe, die, wie wir sahen, ungewöhnlich schwere Körner brachte.

Der Gesamt-Körnerertrag in der untersten Mg-Reihe ist kleiner als in allen andern Versuchsreihen, während das Strohgewicht bei weitem nicht im selben Maße herabgedrückt wird. Infolgedessen besteht hier das ungünstigste Verhältnis Stroh : Korn.

In den „Arbeiten über K-Düngung" (20, S. 316) wird ebenfalls hervorgehoben, daß bei Getreide vor allem der Ertrag an Korn durch Mg-Mangel stark beeinträchtigt wird. Indessen findet Lundegardh (32, S. 116, Tab. 20) bei Versuchen mit Hafer den Körnerertrag überhaupt nicht beeinflußt, dagegen das 1000-Korngewicht durch steigende Mg-Mengen erhöht

Überblicken wir noch einmal die Wirkungen des Mg, so läßt sich als hervorstechendste Eigenschaft die Vermehrung der Gesamtkornzahl anführen, die durch Zunahme der Bestockung und Anwachsen der Körnerzahl in der Ähre zustande kommt.

In Feldversuchen fanden Dix und Bischof (33) und Schmitt (34), in Übereinstimmung mit unsern Beobachtungen, bei guter Mg-Versorgung ein beschleunigtes Reifen der Gerste. Propsting (1) gibt für die auch von mir verwandte Gerste „Bethge und Oelze XIII" bei der niedrigsten Mg-Konzentration den niedrigsten Kornertrag an. Da er aber schreibt, daß die Körner in der ganzen Mg-Reihe auffallend schlecht entwickelt waren, und zudem seine unterste Mg-Gabe ungefähr meiner zweithöchsten entsprach, sind seine Ergebnisse nicht mit den meinigen vergleichbar. Jedenfalls zeigt sich bei meinen Versuchen in allen Fällen eine eindeutige ertragsteigernde Wirkung, woraus selbstverständlich nicht der Schluß gezogen werden darf, daß Magnesium immer nur ertragsteigernd wirkt, denn schon Loew (35) stellte fest, daß Mg bei Fehlen des antagonistisch wirkenden Ca giftig sein kann. Es wird wohl wie bei andern Nährstoffen so sein, daß eine Überdüngung zu einem Ertragsrückgang führt. In den „Arbeiten über Kalidüngung" (20) wurde bei kleinen Mg-Gaben eine starke Zunahme des Korn- und Strohgewichtes festgestellt. Jedoch wurde bei einer weit höheren Düngung, als ich sie anwandte, noch keine wesentliche Ertragsverminderung gefunden.

Der Einfluß des Mg war beim Hafer nicht so stark wie bei der Gerste und z. T. auch anderer Art. Obwohl die unterste Mg-Gabe nur 0,0059 g je Topf betrug, waren die Pflanzen fast normal ausgebildet. Das zeigt uns wieder die bekannte, also auch für Mg geltende Anspruchslosigkeit des Hafers. Die Erhöhung der Mg-Gabe von der 1. zur 2. Stufe führte eigenartigerweise zu einer beachtlichen Verminderung der Bestockung (um 22,4%), während wir bei der Gerste gerade umgekehrt eine starke Zunahme sahen. Da aber in der Rispe sehr viel mehr Körner ausgebildet wurden (85% mehr), ist trotzdem eine stattliche Zunahme der Kornzahl je Topf eingetreten (um 35%). Da auch das Ein-Korngewicht erhöht wurde (um 7%), hat die Gesamtkornernte eine Zunahme um 43% aufzuweisen. Auch der einzelne Halm wurde bedeutend schwerer (um 37%), was jedoch die Gesamt-Strohernte wenig zu steigern vermochte, eine Folge der verminderten Bestockung. Wir erinnern uns, daß bei der Gerste gerade umgekehrt das Halmgewicht vermindert wurde.

Die Erhöhung von der 2. zur 3. Mg-Gabe wirkt sich weiter, wenn auch abgeschwächt, in genannter Richtung aus. Die Bestockung erfuhr keine weitere Beeinträchtigung, das Halmgewicht keine Förderung.

Die höchste Mg-Gabe endlich drückte bereits etwas die Anzahl der Körner in der Rispe und damit je Topf herab. Da aber das Einzelkorn noch um 11% schwerer wurde, erfuhr die Gesamt-Kornernte keine Einbuße.

Tabelle 38.
Mg-Düngung und Erträge bei Hafer.

Düngung g Mg	Bestokkung	Kornzahl je Topf	Körner in einer Rispe	Ein-Korngewicht mg	Korngewicht je Rispe mg	Korngewicht je Topf g	Strohgewicht je Halm mg	Strohgewicht je Topf g	Stroh / Korn
0,006	37,0	988	26,7	19,3	515	19,01	1241	45,9	2,41
	± 0,6	± 64	± 2	± 0,6	± 23	± 0,7		± 1,4	
0,018	28,7	1336	46,4	20,6	950	27,26	1704	48,9	1,79
	± 4,1	± 84	± 10	± 0,8	± 243	± 1,9		± 3,1	
0,036	29,7	1524	51,3	21,5	1103	32,88	1700	50,5	1,55
	± 0,7	± 52	± 2,5	± 0,6	± 39	± 1,0		± 1,7	
0,071	30,0	1401	46,9	23,5	1102	33,06	1677	50,3	1,52
	± 5,5	± 118	± 7	± 0,7	± 140	± 3,8		± 0,7	

Tabelle 39.

Mg-Gabe %	Bestokkung %	Kornzahl je Topf %	Kornzahl je Rispe %	Ein-Korngewicht %	Korngewicht je Rispe %	Korngewicht je Topf %	Strohgewicht je Halm %	Strohgewicht je Topf %
100	100	100	100	100	100	100	100	100
300	77,6	135	174	107	184	143	137	107
600	80,3	154	192	111	214	173	137	110
1200	81,1	142	173	122	214	174	135	110

Das am meisten hervorragende Merkmal in der Wirkung des Mg ist auch beim Hafer die Förderung der Kornbildung. Alle übrigen Wirkungen treten demgegenüber weit zurück. Während aber die Gerste außer durch Vermehrung der Körner in der Ähre durch starke Bestockung zum Ziele kam, begnügte sich der Hafer mit der vermehrten Kornbildung in der Rispe. Vielleicht ist hiermit auch die starke Einschränkung der Bestockung erklärt. Sie erfolgte möglicherweise zugunsten der besseren Ausgestaltung der Rispen, wodurch auch die Zunahme des Halmgewichtes eine Erklärung fände.

2. N-Verbindungen.

Der Einfluß des Magnesiums auf den Stickstoff und seine Beschaffenheit im Korn (Tab. 40) war nicht so groß wie auf die Erträge. Bei der Gerste hat die unterste Reihe den geringsten

Tabelle 40.
Mg-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner.
(Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g Mg	Ein-Korngewicht mg	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,015	26,4	0,517	0,4933	0,0240	0,0050	0,0191
	± 1,1	± 0,039	± 0,0373	± 0,0027	± 0,0004	± 0,0016
0,030	29,0	0,566	0,5388	0,0268	0,0067	0,0201
	± 0,2	± 0,046	± 0,0461	± 0,0020	± 0,0006	± 0,0015
0,089	31,3	0,531	0,5012	0,0295	0,0056	0,0239
	± 0,8	± 0,020	± 0,0270	± 0,0007	± 0,0001	± 0,0052
0,148	34,6	0,532	0,5015	0,0305	0,0066	0,0239
	± 0,8	± 0,010	± 0,0100	± 0,0005	± 0,0002	± 0,0003

N-Gehalt im Korn, die zweite Reihe schon den höchsten, während die dritte und vierte mit ihren Werten zwischen der ersten und zweiten Reihe liegen; aber die Unterschiede sind infolge der großen Schwankungen durchaus unsicher. Der Eiweißgehalt verhält sich ähnlich wie der Gesamt-N. Beim löslichen N finden wir von der untersten bis zur höchsten Reihe einen stetigen Anstieg, den wir auch beim Rest-N bis zur dritten Reihe feststellen können. Eine deutliche Zunahme tritt von der zweiten zur dritten Reihe auf. Die Werte des Reststickstoffs für die erste und zweite Reihe liegen nahe beisammen, während andererseits die für die dritte und vierte Reihe übereinstimmen. Der doppelte Amid-N läßt keine Gesetzmäßigkeit erkennen.

Tabelle 41.

Mg-Düngung und N-Gehalt der Gerstenkörner.
(Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf löslichen N.)

Düngung g Mg	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N
0,015	95,4	4,6	1,0	20,8	3,6	79,2	20,6
0,030	95,2	4,8	1,2	25,0	3,6	75,0	20,1
0,089	94,4	5,6	1,1	19,0	4,5	81,0	17,0
0,148	94,3	5,7	1,2	21,6	4,5	78,4	16,4

Die auf Gesamt-N bezogenen Werte für den Eiweiß- und löslichen N (Tab. 41) sind deutlich beeinflußt, und zwar verhalten sich jedesmal die beiden unteren und die beiden oberen Reihen gleich, indem bei der ersten und zweiten Mg-Gabe der Eiweißgehalt höher ist als bei der dritten und vierten. Dadurch verschiebt sich in den beiden unteren Reihen das Verhältnis Eiweiß : löslichem Stickstoff eindeutig zugunsten des Eiweiß. Die relativen Werte des Rest-N verhalten sich genau so wie die absoluten Zahlen, sie sind in der ersten und zweiten Reihe kleiner als in der dritten und vierten. Da der Amid-N keine eindeutige Änderung erfährt, kann man sagen, daß der Anstieg des Eiweiß bei den unteren Gaben wahrscheinlich auf Kosten der Aminosäuren geht.

Beim Hafer sind die auf das Einzel-Korn bezogenen Werte (Tab. 42) jeweils bei den beiden unteren und den beiden oberen

Tabelle 42.

Mg-Düngung und N-Gehalt der Haferkörner. (Zahlen = mg in einem Korn.)

Düngung g Mg	Ein-Korn-gewicht mg	Gesamt-N	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N	Rest-N
0,006	19,3 ± 0,6	0,4328 ± 0,0253	0,4051 ± 0,0247	0,0277 ± 0,0009	0,0083 ± 0,0007	0,0194 ± 0,0004
0,018	20,6 ± 0,8	0,4305 ± 0,0378	0,4030 ± 0,0366	0,0275 ± 0,0013	0,0072 ± 0,0004	0,0203 ± 0,0016
0,036	21,5 ± 0,6	0,4701 ± 0,0045	0,4386 ± 0,0050	0,0316 ± 0,0004	0,0082 ± 0,0004	0,0234 ± 0,0009
0,071	23,5 ± 0,7	0,4669 ± 0,0492	0,4349 ± 0,0462	0,3200 ± 0,0310	0,0082 ± 0,0005	0,0239 ± 0,0026

Mg-Gaben gleich. Diese Übereinstimmung finden wir auch beim Eiweiß-, löslichen und Rest-N. Der Anstieg des Gesamt-N in der dritten und vierten Reihe ist die Folge des Anwachsens von Eiweiß- wie auch von löslichem N. Die Zunahme der letzten Fraktion beruht fast ausschließlich auf der Vermehrung des Rest-N.

Eine Erklarung fur das gleiche Verhalten einerseits bei einer Mg-Dungung von 0,006 g und 0,018 g, andererseits von 0,036 und 0,071 g laßt sich aus den wiedergegebenen Ertragszahlen (Tab. 38) nicht herauslesen.

In Feldversuchen mit Hafer fanden Dix und Bischof (33) eine relative Erhohung des N-Gehaltes im Korn bei Mg-Dungung, obschon auch sie die Feststellung machten, daß Gerste auf Unterschiede in der Dungung weit empfindlicher reagiert.

Die auf Gesamt- und loslichen Stickstoff bezogenen Werte lassen kaum eine Wirkung des Magnesiums auf die einzelnen Fraktionen erkennen (Tab. 43). Wenn auch in der ersten und zweiten

Tabelle 43.

Mg-Dungung und N-Gehalt der Haferkörner. (Zahlen links oben in den Feldern bezogen auf Gesamt-N, rechts unten bezogen auf loslichen N.)

Düngung g Mg	Eiweiß-N	Löslicher N	Doppelter Amid-N		Rest-N		Eiweiß-N / Lösl. N
0,006	93,6	6,4	1,9		4,5		14,6
0,018	93,6	6,4	1,7	30,0	4,7	70,0	14,7
0,036	93,3	6,7	1,7	26,2	5,0	73,8	13,9
0,071	93,1	6,9	1,8	25,9	5,1	74,1	13,6
				25,6		74,4	

Reihe ein geringer Anstieg des Eiweiß-N vorhanden ist, der das Verhältnis Eiweiß- : löslichem Stickstoff etwas gunstiger gestaltet, so ist gegenuber den fur die Gerste erhaltenen Ergebnissen der Unterschied so gering, daß wir ihm kaum Bedeutung beimessen konnen. Auch erkennt man bei dem auf Gesamt-N bezogenen Rest-N, wie bei der Gerste, die Tendenz, mit fallender Mg-Menge in der Dungung abzunehmen. Ebenso wie dort liegen auch hier jeweils die Werte der beiden unteren und der beiden oberen nahe beieinander.

3. Kohlehydrate.

Der Einfluß des Mg auf die Kohlehydrate ist dagegen weit großer als auf den N (Tab. 44). In ahnlicher Weise wie das Ein-Korngewicht nimmt bei der Gerste der Starkegehalt bis zur hochsten Mg-Gabe zu. Die absoluten und Prozentwerte steigen in gleicher Weise an, woraus hervorgeht, daß die Anderung im Ein-Korngewicht in der Hauptsache durch den Starkegehalt bedingt ist. Während des Wachstums der Pflanzen war von der untersten bis zur obersten Mg-Reihe ein Ubergang von hellgrunen bis normal farbenen Blattern zu erkennen. Dies deutet darauf hin, daß mit steigender Mg-Konzentration mehr Chlorophyll gebildet wurde und infolgedessen die Photosynthese verstarkt war. Damit ist aber noch nicht gesagt, daß allein die Vermehrung der Chloroplasten

Tabelle 44.
Mg-Düngung und Kohlehydrate im Gerstenkorn.
Zahlen mit Mittelwerten = mg in einem Korn.
Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.

Düngung g Mg	Ein-Korn-gewicht mg	Stärke mg	Stärke %	Zucker mg	Zucker %	Stärke / Zucker
0,015	26,4 ± 1,1	12,35 ± 0,7	46,8	0,553 ± 0,02	2,09	22,3
0,030	29,0 ± 0,2	13,83 ± 0,3	47,7	0,550 ± 0,029	1,90	25,1
0,089	31,3 ± 0,8	15,7 ± 0,7	50,2	0,563 ± 0,024	1,80	27,9
0,148	34,6 ± 0,8	17,76 ± 0,6	51,3	0,567 ± 0,023	1,64	31,3

die größere Stärkebildung verursacht hat, es ist durchaus denkbar, daß auch die Intensität der CO_2-Assimilation mit höherem Mg-Gehalt zunimmt und Mg auf den „protoplasmatischen Faktor“ der Photosynthese einwirkt[1].

[1] Fleischer (36) gibt für Chlorella an, daß die Intensität der Photosynthese unabhängig vom Chlorophyllgehalt durch Magnesium verändert werden kann und hält zwei Wege für diese Wirkung möglich. 1. ein direktes Eingreifen in den chemischen bzw. photochemischen Prozeß, 2. eine Beeinflussung des „inneren Faktors“.

Die absoluten Werte für die reduzierenden Zucker sind in allen vier Reihen praktisch gleich. Da aber mit höherer Mg-Düngung der Stärkegehalt wesentlich ansteigt, erfährt das Verhältnis Stärke : Zucker von der untersten bis zur obersten Reihe eine stetige Zunahme. Der prozentuale Zuckergehalt nimmt von der untersten bis zur obersten Mg-Gabe ab. Verglichen mit der Wirkung des Mg auf Gesamt- und Eiweiß-N zeigt sich der Einfluß auf den Stärkegehalt weit deutlicher. Auffallend ist ferner, daß das Verhältnis Eiweiß- : löslichem N bei den beiden unteren Mg-Gaben am größten war, während für das Stärke : Zuckerverhältnis, wie bereits gesagt, der höchste Wert bei der höchsten Mg-Gabe erreicht wurde. Daraus geht hervor, daß N und Kohlehydratstoffwechsel nicht immer in gleicher Weise auf Einflüsse von außen reagieren.

Wie bei der Gerste steigt mit zunehmender Mg-Düngung der Stärkegehalt auch im Haferkorn stetig an, was in den Prozentwerten nicht so gut zum Ausdruck kommt wie in den absoluten Zahlen (Tab. 45). Die absoluten Zuckerwerte stimmen jeweils in den beiden unteren und den beiden oberen Reihen untereinander überein; dabei haben die beiden unteren Reihen einen niedrigeren Zuckergehalt als die beiden oberen. Wir erinnern uns, daß bei der Gerste überhaupt keine Veränderung zu erkennen war. Die Prozentzahlen und das Verhältnis Stärke : Zucker sind durch die steigenden Mg-Gaben nicht in einheitlicher Richtung beeinflußt worden.

Bei Besprechung der Wirkung des Mg auf den N-Stoffwechsel wurde auf die eigenartige Übereinstimmung der Werte zwischen

Tabelle 45.

Mg-Düngung und Kohlehydrate im Haferkorn.
Zahlen mit Mittelwerten = mg in einem Korn.
Zahlen ohne Mittelwerte bezogen auf Lufttrockengewicht.

Düngung g Mg	Ein-Korn-gewicht mg	Stärke mg	Stärke %	Zucker mg	Zucker %	Stärke / Zucker
0,006	19,3 ± 0,6	6,65 ± 0,4	34,5	0,273 ± 0,01	1,41	24,4
0,018	20,6 ± 0,8	7,44 ± 0,5	36,1	0,263 ± 0,01	1,28	28,3
0,036	21,5 ± 0,6	7,77 ± 0,4	36,1	0,320 ± 0,02	1,49	24,3
0,071	23,5 ± 0,7	9,08 ± 0,4	38,6	0,327 ± 0,01	1,39	27,8

der ersten und zweiten, bzw. zwischen der dritten und vierten Reihe hingewiesen. Daß diese Erscheinung jetzt auch bei den absoluten Zuckerwerten wiederkehrt, deutet auf bestimmte Zusammenhänge zwischen der Wirkung des Mg auf den N-Stoffwechsel und den Kohlehydratumsatz hin. Worauf aber diese Übereinstimmungen zurückzuführen sind, kann nicht gesagt werden.

Jedenfalls zeigt sich als deutlichste Mg-Wirkung bei beiden Getreidearten eine Zunahme der Stärke mit steigender Mg-Gabe, während der N-Gehalt in weit geringerem Maße beeinflußt wird. Dieses Ergebnis ist beim Hafer vielleicht noch bedeutungsvoller als bei der Gerste, weil bei letzterer die beiden unteren Reihen typische Mangelpflanzen ausgebildet hatten, die kaum zur Ährenbildung kamen, was sich besonders auf die Kornzahl auswirkte (s. Tab. 36), die von der untersten bis zur obersten Reihe verdreifacht wurde. Von alledem war beim Hafer nur wenig zu bemerken, die Pflanzen wuchsen normal und die Kornzahl belief sich in der untersten immerhin noch auf zwei Drittel der dritten Reihe, die die größte Zahl ausbildete. Daraus geht hervor, daß selbst bei äußerlich normalen oder fast normalen Pflanzen Mg die Ausbildung der Stärke beträchtlich fördern kann. Farbunterschiede bei den Blättern waren nicht zu beobachten, so daß man rein äußerlich nicht auf einen verminderten Chlorophyllgehalt in den unteren Reihen schließen konnte.

Eine gewisse Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen (s. auch Tab. 46 u. 47) zeigen die Versuche des Kalisyndikates (20), bei denen in Sandkulturen eine prozentuale Zunahme des N in Gersten- und Haferkörnern bei Mg-Mangel gefunden wurde. Außerdem machte man in Wasserkulturen bei grünen Gerstepflanzen ähnliche Feststellungen. Diese Ergebnisse können sowohl durch Beeinflussung des N- wie auch des Kohlehydrat-Haushaltes hervorgerufen sein.

4. Rohfaser.

Über den Rohfasergehalt ist nichts Besonderes zu sagen. Die absoluten Werte waren unabhängig von der Mg-Menge in der Düngung völlig konstant. Die auf Trockensubstanz bezogenen Rohfasergehalte nahmen infolge der gesteigerten Einlagerung von Stärke mit zunehmender Mg-Gabe naturgemäß erheblich ab (Tab. 46 u. 47).

Tabelle 46.

Mg-Düngung und Stärke : Eiweiß-Verhältnis bei Gerste.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g Mg	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,015	46,8	1,9	8,1	25,0
0,030	47,7	1,9	7,4	25,7
0,089	50,2	1,6	6,9	31,3
0,148	51,3	1,4	6,2	35,4

Tabelle 47.

Mg-Düngung und Stärke : Eiweiß-Verhältnis bei Hafer.
(Zahlen bezogen auf Lufttrockengewicht.)

Düngung g Mg	Stärke %	Eiweiß-N %	Rohfaser %	Stärke / Eiweiß-N
0,006	34,5	2,1	12,9	16,4
0,018	36,1	2,0	12,2	18,5
0,036	36,1	[illegible]	11,6	17,9
0,071	38,6	1,9	10,7	20,9

5. Das Verhältnis Stärke : Eiweiß.

Wenn auch nicht so extreme Werte wie in der N- und untersten K-Reihe der Gerste erreicht werden, so kann man bei der Gerste von der 1. Mg-Reihe an doch eine ununterbrochene Zunahme des Stärke : Eiweiß-Verhältnisses feststellen. Beim Hafer ist dieser Anstieg bei weitem schwächer und nicht so stetig.

6. Die Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf.

Der Einfluß des Mg kommt in diesen Ertragszahlen überaus deutlich zum Ausdruck. Bei beiden Getreidearten ist das Optimum

Tabelle 48.

Mg-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf
bei der Gerste.

Düngung g Mg	Gesamt-Kornertrag g	Eiweiß berechnet aus Gesamt-N g	Eiweiß berechnet aus Eiweiß-N g	Stärke g
0,015	7,82 ± 1,2	0,945 ± 0,110	0,899 ± 0,103	3,71 ± 0,72
0,030	15,4 ± 2,4	1,89 ± 0,16	1,79 ± 0,15	7,36 ± 1,24
0,089	27,5 ± 0,6	2,91 ± 0,09	2,74 ± 0,08	13,8 ± 0,4
0,148	30,8 ± 0,4	2,96 ± 0,02	2,79 ± 0,24	15,8 ± 0,3

Tabelle 49.

Mg-Düngung und Erträge an Eiweiß und Stärke je Topf
beim Hafer.

Düngung g Mg	Gesamt-Kornertrag g	Eiweiß berechnet aus Gesamt-N g	Eiweiß berechnet aus Eiweiß-N g	Stärke g
0,006	19,0 ± 0,7	2,65 ± 0,04	2,48 ± 0,04	6,57 ± 0,35
0,018	27,3 ± 1,9	3,56 ± 0,12	3,33 ± 0,12	9,98 ± 1,09
0,036	32,9 ± 1,0	4,48 ± 0,19	4,18 ± 0,18	11,9 ± 0,9
0,071	33,1 ± 3,8	4,11 ± 0,60	3,81 ± 0,57	12,7 ± 0,2

für die Eiweißerträge in der 3. Reihe erreicht, wohingegen die Stärkewerte bis zur 4. Reihe ansteigen. Bei beiden Pflanzen ist die Stärkebildung durch Mg mehr gefördert als die Eiweißbildung.

D. Schlußbetrachtungen.

Wenn wir versuchen, die z. T. tiefgreifenden Wirkungen der verschiedenen Düngung auf die Zusammensetzung der Gersten- und Haferfrucht zu erklären, so stoßen wir schon bei der verhältnismäßig einfach liegenden Wirkung des Stickstoffs auf Schwierigkeiten. Wir sahen, daß sowohl bei der Gerste wie beim Hafer die absolute N-Menge in der Frucht bei der ersten und zweiten Reihe gleich war, und die größere N-Gabe in der zweiten Reihe dazu verwandt wurde, die doppelte Menge Körner auszubilden. Bei der Gerste wurde das durch Bestockung, beim Hafer durch eine vermehrte Kornbildung in der Rispe erreicht. Wie man sich dieses verschiedenartige Eingreifen des Stickstoffs in die dafür verantwortlich zu machenden entwicklungsphysiologischen Vorgänge vorstellen soll, ist nicht zu sagen. Es spielen vielleicht hormonale Wirkungen eine Rolle, worauf hier aber nicht näher eingegangen werden kann. Auch sei darauf hingewiesen, daß die Art der N-Düngung das Ionengleichgewicht in der Pflanze erheblich verschieben kann.

Aus den von Lundegardh (32, S. 175ff.) mitgeteilten Zahlen für Haferkörner geht hervor, daß der Mineralstoffgehalt der Samen durch Ammoniumsalze und Nitrate beeinflußt wird.

Bei N-Mangel stellten wir in Übereinstimmung mit Propsting (1) einen hohen Gehalt von löslichem, und zwar besonders von Rest-N, bei übermäßiger N-Versorgung einen Anstieg des Amid-N fest.

Die Vermehrung des Reststickstoffs fand Engel (11) auch bei Blättern von N-Mangelpflanzen. Ebenso hatten Ruhland und Wetzel (37) schon vorher bei Begonia semperflorens, die bei vollständigem N-Mangel gezogen war, einen hohen Gehalt an Aminosäuren festgestellt.

Daraus ist wohl zu schließen, daß wir es hier mit einer allgemeinen Erscheinung zu tun haben. Da bei der Gerste auch der Zuckergehalt in den beiden unteren Reihen erhöht ist, kommt es also zu einer Vermehrung der gesamten löslichen Verbindungen, während in der oberen Reihe bei der Gerste die löslichen Verbindungen sowohl des Stickstoffs wie auch der Kohlehydrate abgenommen haben.

Zur Erklärung der Zunahme des löslichen N kann die Auffassung, wonach zwischen den löslichen Kohlehydrat- und löslichen N-Verbindungen, speziell dem NH_3-Stickstoff, bestimmte Gleichgewichtszustände nach Art der chemischen Massenwirkung bestehen (11, 38, 39), nicht herangezogen werden. Denn, wie eingangs erwähnt, ist NH_3-Stickstoff in den untersuchten Getreidekörnern kaum nachzuweisen. Vielleicht wurde durch den Mangel an N das Ionengleichgewicht und damit der Zustand des Plasmas derart verändert, daß der Aufbau des Eiweiß aus Aminosäuren und

der Stärke aus den Zuckern eine gewisse Hemmung erfuhr. An einen verstärkten Abbau im reifenden Korn ist wohl kaum zu denken.

Bereits Smirnow (40) sprach im Jahre 1928 ähnliche Gedanken aus, in dem er vermutete, daß die Ionen in der Zelle, bzw. ihr Verhältnis zueinander bei der Regulierung des N-Stoffwechsels eine hervorragende Rolle spielen.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß der hohe Stärkegehalt im Korn bei N-Mangel nicht allein dadurch erklärt werden kann, daß relativ wenig Kohlehydrate für den Aufbau von Eiweiß benötigt werden. Vielmehr dürfte diese Erscheinung ihre Ursache in der Hauptsache darin haben, daß mit der Verminderung der Kornzahl der Strohanteil nicht Schritt hält, so daß bei N-Mangel eine größere assimilierende Oberfläche auf das einzelne Korn entfällt als bei den höheren Gaben.

Es erhebt sich dabei die Frage, ob überhaupt im Korn noch eine gegenseitige Beeinflussung des Kohlehydrat- und N-Stoffwechsels vorhanden ist. Einen Hinweis könnte vielleicht die Untersuchung der Zufuhr der N- und Kohlehydrat-Verbindungen bei der Kornreifung geben. Aber die darüber vorliegenden Angaben (41) sind nicht eindeutig, so daß daraus keine Schlüsse gezogen werden können. Wenn man annimmt, daß der N in der Hauptsache in der Form der Aminosäuren dem Korn zugeleitet wird, und diese über die Zwischenstufe der Polypeptide in Eiweiß übergeführt werden, braucht im Korn eine Abhängigkeit des N-Stoffwechsels von den Kohlehydraten kaum mehr zu bestehen. Diese Vermutung hat viel Wahrscheinlichkeit für sich, da die Hauptreaktionsorte zwischen dem zugeführten N und den reaktionsfähigen C-Verbindungen bereits in den Wurzeln liegen (19). Auf der anderen Seite sahen wir aber, daß unter Umständen eine beträchtliche Menge von Amid-N vorhanden ist, der, falls er für den Eiweißaufbau Verwendung finden soll, nach der heute vorherrschenden Ansicht in Aminosäuren übergeführt werden muß, wozu dann lösliche Kohlehydrate notwendig wären. Allerdings wurde in letzter Zeit auch wieder die Auffassung vertreten, daß Amide bzw. amidähnliche Verbindungen direkt, d. h. ohne Desaminierung, zum Aufbau des Eiweiß dienen können (42, 43).

Gerste und Hafer reagieren teilweise ganz verschieden auf die Düngung; das erscheint nicht verwunderlich, wenn wir daran denken, daß selbst zwei verschiedene Gerstensorten sich teilweise sogar grundsätzlich anders verhalten können (7, 1). Bei meinen Versuchen zeigt der Hafer das bekannte geringe Nährstoffbedürfnis, er erträgt K- und Mg-Mangel weit besser als die Gerste. Gesamt-N und Stärkegehalt haben im allgemeinen dieselbe Tendenz bei Gerste und Hafer; bei letzterem scheint aber eine Verschiebung der einzelnen N-Fraktionen untereinander und ebenso eine Änderung des Stärke : Zuckerverhältnisses erschwert zu sein. Dieses Verhalten kann z. T. auch dadurch vorgetäuscht worden sein, daß infolge der Anspruchslosigkeit des Hafers nicht eine so

extreme Beeinflussung vorlag. Andererseits ist nicht zu sagen, ob es sich eventuell nur um eine Eigentümlichkeit der von mir verwandten Sorte oder eine allgemeine Eigenschaft des Hafers handelt.

In der K-Reihe bewirkte die unterste K-Gabe eine Herabsetzung des absoluten Gehaltes an Gesamt-N und an Stärke. Der prozentuale Gehalt an N nahm dagegen zu, und es wurde schon darauf hingewiesen, in welcher Weise diese mit den Befunden an ganzen Pflanzen und Blättern (26, 27, 44) übereinstimmende Zunahme erklärt werden kann. Wie ist aber der starke relative Anstieg der löslichen N-Verbindungen und der Zucker bei K-Mangel zu verstehen? Man hat oft die Wirkung des K in einer direkten Beteiligung entweder an der Eiweiß-Synthese oder am Kohlehydratumsatz (28, 8) gesucht. Dagegen spricht in meinen Versuchen, daß sowohl N-Verbindungen als auch Kohlehydrate im gleichen Sinne beeinflußt werden, und Schmalfuß (3) hat wohl überzeugend dargetan, daß man die hauptsächliche Bedeutung des K in seiner Wirkung auf den Zustand der Zellkolloide suchen muß.

Vielfach werden die Verhältnisse bei den Kohlehydraten so betrachtet, daß nur das Gleichgewicht zwischen Stärke und löslichen Verbindungen zugunsten der letzteren verschoben sei, die Gesamtmenge an Kohlehydraten dagegen nicht abnehme. Diese Annahme wird aber den Verhältnissen im Getreidekorn nicht gerecht. Der absolute Minderertrag an Stärke im Einkorn in der untersten K-Reihe ist in keiner Weise durch den Anstieg der löslichen Kohlehydrate wieder wettgemacht.

Nach den Ergebnissen einer Reihe von Forschern (22, 7, 23, 45, 46, 47) ist die Intensität der CO_2-Assimilation bei K-Mangel herabgesetzt. Die gegenteiligen Befunde von Gaßner und Goeze (48) werden von Alten und Mitarbeitern (46) durch die niedrige Grunddüngung, die von den Autoren angewandt wurde, erklärt. Hinzu kommt noch, daß auch die Gesamtleistung der Photosynthese durch das frühzeitige Welken der Pflanzen stark vermindert wird.

Als Auswirkung dieser Vorgänge macht sich in meinen Versuchen eine starke Abnahme der Kohlehydrate im Korn bemerkbar.

Es ist anzunehmen, daß es der protoplasmatische Faktor der Photosynthese ist, der durch K-Mangel beeinflußt wird. Pirson (47) fand nämlich in seinen Versuchen mit Chlorella bei einer Zugabe von K zu der Nährlösung innerhalb einer halben Stunde eine Steigerung der CO_2-Assimilation. Aber augenscheinlich handelt es sich dabei nicht um eine spezifische Wirkung des Kaliums auf die Synthese, denn sowohl bei Nitrat- als auch bei Mangan-Mangelzellen trat bei Zufuhr von Nitrat bzw. Mangan ebenfalls eine fast augenblickliche Steigerung ein. Berücksichtigt man, daß die Intensität der CO_2-Assimilation auch bei N-Mangel (22) und bei Mg-Mangel (36) verringert sein kann, ist wohl der Schluß berechtigt, daß durch den Mangel eines dieser Nährstoffe der Zustand der Zellkolloide irgendwie geschädigt ist, da kaum angenommen werden kann, daß alle diese Elemente die gleiche spezifische Wirkung auf den Verlauf der Photosynthese besitzen. Nach Arens (49, 50), der auf alte Ansichten von Stoklasa (51) zurückgreift,

wirkt allerdings $KHCO_3$ in Blättern als CO_2-Überträger bei der Photosynthese, so daß die besonders auffallende Wirkung des Kaliums auf eine direkte Beteiligung an diesem Prozeß zurückzuführen wäre.

Die Zunahme der löslichen N-Verbindungen und der Zucker bei K-Mangel ist nach Schmalfuß (3) die Folge der Dehydratation der Plasmakolloide, bewirkt durch den K : Ca-Antagonismus. Daraus ergibt sich für die Zelle eine ungünstige Wasserbilanz. M. E. sind aber mit dieser Vorstellung noch einige Schwierigkeiten verbunden. Als Stütze für die vorstehende Hypothese wird u. a. angeführt, daß bei K-Mangel die Transpiration erhöht sei (Schrifttum bei 3). Es finden sich aber auch Angaben über Transpirationserniedrigungen bei unzureichender K-Versorgung, worauf schon Alten und Mitarbeiter hinweisen (7, 45, 46, 52). Inwieweit diese gegensätzlichen Befunde der einzelnen Autoren auf verschiedene Wahl der Bezugsgröße, methodische Eigentümlichkeiten und sonstige Schwierigkeiten zurückzuführen sind, bleibt dahingestellt. Auch findet man teilweise einen relativen Anstieg der löslichen Verbindungen bei N-Mangel und sogar bei N-Überschuß, wenngleich mit der Einschränkung, daß sich bei N-Mangel z. T. andere Verbindungen anhäufen als bei N-Überschuß. In meinen Versuchen trat ferner in der Mg-Mangelreihe der Gerste eine relative Zunahme der löslichen Kohlehydrate ein. Es liegt nach alledem die Annahme nahe, daß es ganz allgemein bei Fehlen eines Nährstoffes zu einer Schädigung der Plasmakolloide kommt, die neben anderen Wirkungen auch die Anhäufung der löslichen Verbindungen hervorruft.

Bei der Wirkung des Mg scheinen die Verhältnisse noch schwieriger zu liegen. Da es einen Bestandteil des Chlorophylls bildet, beeinflußt es natürlich die CO_2-Assimilation. Aber nur ein verhältnismäßig geringer Teil des Mg wird organisch gebunden.

Haas (53) fand in jungen Citrusblättern 70–80% Mg in löslicher Form. Rissmann (54) gelang es, aus Avena- 61,3% und aus Triticumblättern 64,0% mit Wasser auszuwaschen. Bei Dialyse von Preßsäften wanderte fast das ganze Mg mit dem Dialysat ab, woraus Canals und Mitarbeiter (55) schlossen, daß das Mg der Hauptsache nach in mineralisch gebundener Form vorlag. Seit Loew (35) ist auch der oftmals bestätigte Ca : Mg-Antagonismus bekannt.

In unseren Versuchen fiel besonders die Zunahme des Stärkegehaltes mit steigender Mg-Düngung auf, die nicht nur auf vermehrte Chlorophyllbildung, sondern auch auf Steigerung der photosynthetischen Leistung beruhen kann, wie Fleischer (36) an Chlorella feststellte. Vielleicht ist das letztere wiederum mit dem protoplasmatischen Faktor in Zusammenhang zu bringen. Wie die übrigen Wirkungen des Magnesiums zu erklären sind, kann nicht gesagt werden.

Lundegardh (32, S. 138) nimmt an, „daß auch die Mg-Aufnahme in gewissem Grad, obwohl nicht so gesetzmäßig wie die Ca-Aufnahme, von dem Kaliumgehalt der Gewebe reguliert wird". Ebenso stellte Burström (29) eine antagonistische Hemmung der Mg-Aufnahme sowohl durch K- als auch durch Ca-Ionen fest. Nach Lundegardh (32) erstreckt sich dieser Anta-

gonismus bis in die Samen, er fand bei seinen Versuchen den Quotient Mg : Ca in der Haferfrucht durchschnittlich drei- bis viermal größer als für Blätter

Die Samen sind also reicher an Mg, und man kann vielleicht vermuten, daß dem Element an dieser Stelle eine größere Bedeutung zukommt.

In der Ca-Reihe trat kaum eine Wirkung dieses Elementes zutage. Es war fast überall eine harmonische Ausbildung des Kornes zu beobachten, was besonders darin zum Ausdruck kam, daß trotz verschiedenen Ein-Korngewichtes das Verhältnis Eiweiß : Stärke bei allen vier Ca-Gaben praktisch konstant blieb. Nur die hohe Ca-Gabe führte zu deutlichen Ertragsminderungen und Veränderungen in der Kornbeschaffenheit, wobei eine antagonistische Wirkung von Ca : K allerdings nicht zu bemerken war.

Lundegårdh (32) fand den Ca-Gehalt bei Kalziumdüngung in den Blättern erhöht, wohingegen der prozentuale Wert in den Samen konstant blieb. Ferner hatte in seinen Versuchen die „Steigerung des Ca-Gehaltes der Blätter keine größere Einwirkung auf den Kaliumgehalt derselben" (S. 163) Der Kaliumgehalt ist nach seiner Ansicht unabhängiger von einer Änderung des Ca-Gehaltes als umgekehrt der Ca-Gehalt der Blätter von dem vorhandenen K. Daraus wird gefolgert, „daß ein reziproker Antagonismus Ca gegen K für die einzelnen Zellen und Gewebe nicht zu bestehen scheint" (S. 16.). In ähnlicher Weise nimmt Burström (29, S. 251) an, daß die Bedeutung des K und Ca „nicht nur in der gegenseitigen Bilanz liegt, deshalb hat eine von der Ionenbilanz bedingte Plasmahydratation wahrscheinlich keine dominierende Wirkung auf das Wachstum". Er schreibt dem Ca die Wirkung zu, teils die Wasseraufnahme zu vermindern, teils den Ionentransport in der Pflanze zu erschweren.

Gaßner und Goeze (56) konnten trotz weitgehender Abänderungen der Ca-Düngung keine Wirkung auf CO_2-Assimilation, Chlorophyllgehalt und Transpiration feststellen, während Hansteen-Cranner (57) und Kisser (58) eine Erhöhung der Wasserabgabe durch Ca-Ionen angeben. Gaßner und Goeze kommen auf Grund ihrer Ergebnisse zu dem Schluß, daß der nach Hansteen-Cranner und Kisser im Wasserhaushalt auftretende Antagonismus von K und Ca nur für die Wasseraufnahme durch die Wurzeln in Frage kommt. Für die Blätter konnte die gegenseitige Beeinflussung insoweit nicht bestätigt werden, „als für die Transpirationsgröße nur das Kalium als regulierender Faktor in Frage kommt, während sich Kalzium indifferent gezeigt hat" (56, S. 311)

Im wesentlichen stimmen die von Lundegårdh (32), Gaßner und Goeze (56) und mir erhaltenen Ergebnisse, obwohl sie verschiedene physiologische Prozesse betreffen, überein. In keinem Falle zeigte sich eine spezifische Wirkung des Ca, die durch einen Antagonismus Ca : K erklärt werden könnte.

Die weitgehende Variationsmöglichkeit des Verhältnisses Stärke : Eiweiß zeigt, daß die Art und Menge der Düngung bei den untersuchten Getreidesorten für die Landwirtschaft von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist. Diese Ergebnisse können aber durchaus nicht ohne weiteres für alle Sorten der beiden untersuchten und erst recht nicht für andere Getreidearten verallgemeinert werden.

Es besteht z. B. ein Hinweis darauf, daß der Mais in seinem prozentualen Eiweißgehalt nicht beeinflußt wird. Iwanoff (59) gibt an, daß eine italienische Maissorte, die in Rußland in mehreren Orten, die bis zu 15° Breite und 108° Länge entfernt waren, wo also die Pflanzen unter den verschiedensten Bedingungen von Boden und Klima wuchsen, praktisch überall den gleichen Prozentgehalt an Eiweiß und damit auch wohl an Kohlehydraten hatte, während eine untersuchte Weizensorte starke Veränderungen zeigte.

Aus dieser Feststellung ergibt sich die Notwendigkeit, mit jeder Pflanzensorte und -art Versuche anzustellen, wenn man etwas über ihre Beeinflussung durch äußere Faktoren wie Düngung und Klima aussagen will.

E. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Es wurde die Wirkung verschieden hoher Gaben von N, K, Mg und Ca auf die Gesamtentwicklung der Gersten- und Haferpflanzen und vor allem auf die chemische Zusammensetzung der Frucht untersucht, wobei einige N-Fraktionen, Stärke, Zucker und Rohfaser berücksichtigt werden.

N-Mangel und -Überschuß wirkten ungünstig auf den ganzen Entwicklungszustand der Pflanzen. Eine bemerkenswerte Ausnahme von dieser Regel machte das Ein-Korngewicht, das mit steigender Düngung stetig abnahm und bei N-Mangel am höchsten war. Der Stärkegehalt der Körner änderte sich in gleicher Weise. Gesamt- und Eiweiß-N stiegen mit zunehmender N-Düngung an. Allerdings war der absolute (nicht der prozentuale) N-Gehalt bei der Düngung von 0,25 und 0,50 g N gleich, weil der vermehrte Stickstoff in der zweiten Reihe zur Ausbildung einer größeren Kornerzahl verwandt wurde. Es spiegelt sich also nicht unter allen Umständen die N-Düngung im Stickstoffgehalt des Kornes wider. Das günstigste Verhältnis Eiweiß-N : löslichem N war bei der Gerste in der vierten Reihe vorhanden, während es beim Hafer schon in der zweiten Reihe ein schwaches Optimum hatte. Wie bei grünen Pflanzen fand bei N-Mangel eine Anhäufung von Rest-N, bei reichlicher N-Versorgung eine Vermehrung des Amid-N statt. Das Verhältnis Stärke : Eiweiß-N nahm bei der Gerste mit steigender N-Gabe von 53,8 : 1 bis zu 27,1 : 1, beim Hafer sogar von 38,5 : 1 bis zu 10,2 : 1 ab.

Bei K-Mangel sank das Ein-Korngewicht der Gerste auf die Hälfte und der Stärkegehalt sogar auf ein Drittel des normalen Wertes. Gesamt- und Eiweiß-N nahmen, auf das einzelne Korn bezogen, ab, während bei Bezugnahme auf das Lufttrockengewicht, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei grünen Pflanzen, ein Anstieg vorgetäuscht wird, weil das Ein-Korngewicht prozentual stärker abnahm als der N-Gehalt. Die löslichen Verbindungen des N und der Kohlehydrate nahmen bei Kalimangel zu. Das Verhältnis Stärke : Eiweiß-N war mit 13,3 : 1 in der untersten K-Reihe für die Gerste das kleinste aller Versuche. Der Hafer wurde durch den K-Mangel nicht so stark beeinflußt wie die Gerste. Auf den N-Haushalt wirkte er sich im wesentlichen nur durch die Veränderung des absoluten Stickstoffgehaltes aus.

Kornertrag und Ein-Korngewicht waren um so größer, je mehr Mg gegeben wurde. Der Stickstoffgehalt erfuhr dadurch eine, wenn auch merkliche, so doch nur geringe Beeinflussung. Am ausgeprägtesten war bei beiden Getreidearten die Vermehrung der Stärke bis zur höchsten Mg-Düngung, wodurch auch das Verhältnis Stärke : Eiweiß-N zugunsten der ersten verändert wurde. Bei der Gerste war das Verhältnis Eiweiß-N : löslichen N bei schwacher, und das Verhältnis Stärke : Zucker bei starker Mg-Düngung am größten.

Die geringste Wirkung von den untersuchten Nährstoffen zeigte das Ca. Die besten Pflanzen mit den höchsten Erträgen waren in der zweiten Reihe vorhanden. Auch der N- und Stärkegehalt war hier am größten. Die vierte Ca-Gabe wirkte, wie fast alle Werte zeigten, schädigend. Trotzdem blieb eine harmonische Ausbildung des Korns gewährleistet, was vor allem darin zum Ausdruck kam, daß in der ganzen Ca-Reihe das Verhältnis Stärke : Eiweiß konstant war.

Der absolute Rohfasergehalt blieb weitgehend durch die Düngung unbeeinflußt. Nur in der K-Mangelreihe der Gerste, in der das Ein-Korngewicht auf die Hälfte des normalen Betrages absank, trat eine Verringerung der Rohfaser ein. Der prozentuale Wert änderte sich natürlich mit dem Ein-Korngewicht.

Die Wirkung des K, Ca und z. T. auch des Mg wird in der Beeinflussung der Plasmakolloide gesucht. Den Anstieg der löslichen Verbindungen des N wie der Kohlehydrate bei Nährstoffmangel und -überschuß führen wir auf eine Schädigung des Plasmas und des Ionengleichgewichtes zurück, wobei es dahingestellt bleibt, ob diese Schädigung durch Veränderung des Quellungszustandes oder durch anderweitige Beeinflussung der Protoplasmastruktur bewirkt wird.

Gerste und Hafer zeigen im allgemeinen bezüglich des Gesamt-N und der Stärke in Abhängigkeit von der Düngung das gleiche Verhalten. Es scheint aber, daß der Hafer Veränderungen der einzelnen N-Fraktionen und des Verhältnisses Stärke : Zucker einen größeren Widerstand entgegensetzt, wobei nicht gesagt werden kann, ob wir es hierbei mit einer allgemeinen Eigenschaft des Hafers oder nur mit einer Sorteneigentümlichkeit zu tun haben.

Schrifttum

1. Pröpsting, W.: Über den Einfluß mineralischer Düngung auf Beschaffenheit und N-Haushalt des Gerstenkornes. Angew. Bot., Berlin, **18**, 1936, 408–450.
2. Pfaff, C.: Einfluß der Düngung auf die Weizenqualität. Ergebn. d. Agrikulturchem., Berlin, **3**, 1934, 87–98.
3. Schmalfuß, K.: Das Kalium. Naturwissensch. u. Landwirtschaft, Freising-München 1936, 19.
4. Turtschin, Th. W.: Die Rolle des Kaliums und Phosphors bei der Assimilation verschiedener Stickstofformen durch Pflanzen. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **44**, 1936, 65–83.
5. Chokkana, J. N. G.: Über die Rolle des Kaliums bei der Zuckersynthese der Pflanze Sorghum Saccharatum (Zuckerhirse). Ebenda, **43**, 1936, 43–69.
6. Russel, E. J.: Boden und Pflanze. 2. Aufl. Dresden und Leipzig 1936.
7. Schieck, W.: Einfluß von Kalium auf Assimilation und Transpiration von Sommergerste. Wiss. Arch. Landwirtsch. Abt. A, Arch. Pflanzenbau, Berlin, **6**, 1931, 421–464.
8. Wimmer, G., u. H. Lüdecke: Einfluß wechselnder K-Gaben auf Ertrag und Beschaffenheit verschiedener Gerstensorten unter besonderer Berücksichtigung der Ausnutzung des aufgenommenen Kalis. Landwirtschaftl. Versuchsstat., Berlin, **125**, 1936, 129–200.
9. Nielsen, N.: Über den Stickstoffgehalt einzelner Getreidekörner. C. R. Trav. Lab. Carlsberg, Série Physiologique, Kopenhagen, **21**, 1936, 217 bis 269.

10. Pregl, Fr.: Die quantitative organische Mikroanalyse, bearb. v. H. Roth. 4. Aufl., Berlin 1935.
11. Engel, H.: Beiträge zur Kenntnis des Stickstoffumsatzes gruner Pflanzen. Planta, Berlin, 7, 1929, 133—164.
12. Engel, H.: Gibt es eine Azidosis bei den Pflanzen? Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, 2 (47), 1937, 73—109.
13. Vickery, H Bradford u. G. W. Pucker: Glutamin in den Blattern von Rhabarber (Rheum hybridum). Biochem. Z., Berlin, 293, 1937, 427 bis 431.
14. Abderhalden, E.: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. 1, Berlin Wien, 5, 1922, 242.
15. Klein, G.: Handbuch der Pflanzenanalyse, 2, 1937, 782 ff.
16. Rahn, H.: Untersuchungen uber den N-Stoffwechsel pflanzlicher vegetativer Speicherorgane. Planta, Berlin, 18, 1933, 1—51.
17. Klein, G.: Handbuch der Pflanzenanalyse, 4, 1933, 1345 ff.
18. Prianischnikow, D: Über den Aufbau und Abbau des Asparagins in den Pflanzen Ber. dtsch. bot. Ges., Jena, 40, 1922, 242—248.
19. Mevius, W., u. H. Engel: Die Wirkung der Ammoniumsalze in ihrer Abhangigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration II. Planta, Berlin, 9, 1930, 1 83.
20 Arbeiten über Kalidungung, 2. Reihe, herausgeg. v. d. Wissenschaftl Abtlg. d Deutschen Kalisyndikats, Berlin 1935.
21 Knodel, H Laßt sich die Klebssche Ansicht uber die Abhängigkeit der Blutenbildung von der chemischen Zusammensetzung der Pflanze aufrecht erhalten? Zeitschr Bot, Jena, 29, 1936, 449—501.
22. Gregory, F G, and F J. Richards: The effect of Manurial Deficiency on the Respiration and Assimilation Rate in Barley. Ann. Botany, London, 43, 1929, 119—161
23. Muller, D, u Larsen, Pl.: Analyse der Stoffproduktion bei Stickstoff und Kalimangel Planta, Berlin, 23, 1935, 501—517.
24 Flieg, O: Der Einfluß von N-Aufnahme und Lichtmangel auf den Zuckerspiegel im grunen Blatt und die Bedeutung dieser Beziehung fur Futterung und Silage. Wiss Arch. Landwirtsch., Abt. A, Arch. Pflanzenbau, Berlin, 8, 1932, 335 344.
25. Gruntuch, R: Untersuchungen uber den N-Stoffwechsel unterirdischer Reservestoffbehalter. Planta, Berlin, 7, 1929, 388—421.
26. Mevius, W., u J Dikussar Nitrite als Stickstoffquellen fur hohere Pflanzen. Jahrb. f. wiss Bot., 73, 1930, 633—703
27. Schmalfuß, K: Untersuchungen über den Eiweißstoffwechsel von Kalimangelpflanzen Phytopathol Z, Berlin, 5, 1932, 207—245.
28. Rippel, A: Weitere Beitrage zur Kenntnis des Ertraggesetzes. Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A, 12, 1928, 38—55.
29. Burstrom, H: Uber antagonistische Erscheinungen bei der Kationenaufnahme des Hafers. Svensk Botanisk Tidskrift, Upsala, 28, 1934, 38—55.
30. Jacob, A.: Der Einfluß der Kalidungung auf die chemische Zusammensetzung der Ernteprodukte. Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, 37, 1935, 1—26
31. Schneidewind, W.: Die Ernahrung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 6. Aufl., Berlin 1928.
32. Lundegårdh, H.. Die Nahrstoffaufnahme der Pflanze. Jena 1932.
33. Dix, W., u. St. Bischof: Dungungsversuche mit Magnesiasalzen zu Hafer zur Ermittlung der Wirkungsweise des Magnesiums. Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A, 18, 1930, 158—179.
34. Schmitt, L.: Altes und Neues zur Magnesiadungungsfrage. Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, 42, 1936, 129—143.
35. Loew, O.: Über die physiologischen Funktionen der Kalzium- und Magnesiumsalze im Pflanzenorganismus. Flora, 1892, 368—394.
36. Fleischer, W. E.: The relation between chlorophyll content and rate of photosynthesis. Journ. Gen. Physiol., London, 18, 1935, 573—597.
37. Ruhland, W., u. K. Wetzel: Zur Physiologie der organischen

Säuren in grünen Pflanzen. I. Wechselbeziehungen im Stickstoff- und Säurestoffwechsel von Begonia semperflorens. Planta, Berlin, **1**, 1926, 558—564.
38. Paech, K.: Zur natürlichen Regulation des Eiweißstoffwechsels in Pflanzen. Planta, Berlin, **22**, 1934, 794—799.
39. Paech, K.: Über die Regulation des Eiweißumsatzes und über den Zustand der proteolytischen Fermente in den Pflanzen. Planta, Berlin, **24**, 1935, 78—129.
40. Smirnow, A. J.: Über die biochemischen Eigentümlichkeiten des Alterns der Laubblätter. Planta, Berlin, **6**, 1928, 687—766.
41. Lehmann, E., u. F. Aichele. Keimungsphysiologie der Gräser. Stuttgart 1931.
42. Loew, O.: Über die Bildung von Eiweiß in den Pflanzen. Angew. Bot., Berlin, **15**, 1933, 518—539.
43. McKee, H. S.: A review of recent work on the nitrogen metabolism of plants. Part II. New Phytologist, **36**, 1937, 240—266.
44. Rippel, A., G. Behr u. R. Meyer: Zur Kenntnis der Wirkung des Kaliums auf höhere Pflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **32**, 1933, 95—109.
45. Alten, F., u. G. Goeze: Versuche über die Wirkung des Kaliums auf die Kohlensäureaufnahme von Weizenblättern. Ernährg. d. Pflanze, Berlin, **33**, 1937, 21—28.
46. Alten, F., G. Goeze u. H. Fischer: Kohlensäureassimilation und Stickstoffhaushalt bei gestaffelter Kaligabe. Bodenkunde u. Pflanzenernährung, Berlin, **5**, 1937, 259—289.
47. Pirson, A.: Ernährungs- und stoffwechselphysiologische Untersuchungen an Fontinalis und Chlorella. Z. Botanik, Jena, **31**, 1937, 193—267.
48. Gaßner, G., u. G. Goeze: Die Bedeutung des Kalium-Stickstoffverhältnisses im Boden für Assimilation, Chlorophyllgehalt und Transpiration junger Getreidepflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **36**, 1934, 61—85.
49. Arens, K.: Photosynthese von Wasserpflanzen in Kaliumbicarbonatlösungen. Jahrb. f. wiss. Bot., Berlin, **83**, 1936, 561—566.
50. Arens, K.: Sobre o papel do potassio na photsynthese aquatica e aera (Über eine Funktion des Kaliums bei der Photosynthese von Wasser- und Luftblättern). Bol. Vac. Philos. Sci. e. Let. Univ. Sao Paulo, Bot., **1**, 1937, 1—16, Ref.: Pirson, Bot. Centralblatt, Berlin, **31**, 1938, 138.
51. Stoklasa, J., J. Sebor u. W. Zdobnicky: Über die photochemische Synthese der Kohlehydrate unter Einwirkung der ultravioletten Strahlen. Biochem. Z., Berlin, **41**, 1912, 333.
52. Snow, A. G.: Transpiration as modified by potassium. Plant Physiol., Lancaster, **11**, 1936, 583—594.
53. Haas, A. R. C.: Water-solubility of dry matter in relation to calcium nutrition of normal orange and lemon leaves. Bot. Gaz., Chicago, **85**, 1928, 334—352.
54. Rissmann, R.: Der Mineralstoffwechsel grüner und etiolierter Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung des Magnesiums und der Chlorophyllbildung. Planta, Berlin, **9**, 1930, 195—245.
55. Canals, E., J. Canayč u. E. Cabanes: Recherches physico-chimiques sur les sucs végétaux. Bull. Soc. Chim. biol., Paris, **12**, 1930, 1022.
56. Gaßner, G., u. G. Goeze: Assimilationsverhalten, Chlorophyllgehalt und Transpirationsgröße von Getreideblättern mit besonderer Berücksichtigung der Kalium- und Stickstoffernährung. Z. Bot., Jena, **27**, 1934, 257—340.
57. Hansteen Cranner, C.: Über das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen. III. Beiträge zur Biochemie und Physiologie der Zellwand lebender Zellen. Jahrb. f. wiss. Bot., Leipzig, **53**, 1914, 536—598.
58. Kisser, J.: Untersuchungen über den Einfluß der Nährsalze auf die Wasserabgabe, Wasseraufnahme, relative Sproß- und Wurzelmasse und die Blattstruktur. I. Teil. Planta, Berlin, **3**, 1927, 562—596.
59. Iwanoff, N. N.: Über die Stabilität der chemischen Zusammensetzung der Pflanzen. Biochem. Z., Berlin, **182**, 1927, 88—98.

Der Einfluß mineralischer Düngung auf den Ertrag und die Zusammensetzung des Kornes der Sommerweizenpflanze.

Von **Walter Baumeister.**

Aus dem Botanischen Institut und Botanischen Garten der Universität Münster*).

Direktor: Prof. Dr. Mevius.

Eingegangen: 30. November 1938.

A. Einleitung.

Die vorliegende Arbeit setzt eine Reihe von Veröffentlichungen fort, die durch die Arbeiten von Propsting (1) und Bercks (2) begonnen wurde. Die genannten Autoren untersuchten den Einfluß der Mineraldüngung auf den Ertrag und auf die Kornbeschaffenheit der Gersten- und Haferpflanze. Die Aufgabe meiner Arbeit war es, die gleichen Untersuchungen auch bei der Sommerweizenpflanze durchzuführen.

Die Verbesserung der ungenügenden Qualitätseigenschaften unserer Weizensorten ist, nach dem notwendigen Verzicht auf die Einfuhr von kanadischem Qualitätsweizen, ein Problem geworden, dessen Lösung vordringlich versucht werden muß. Die zahlreichen und bedeutenden Aufgaben, die damit der Züchtungsforschung gestellt worden sind, liegen außerhalb des Bereiches dieser Arbeit und sollen daher nicht berührt werden. Der Zweck meiner Versuche bestand darin, einen Beitrag zu der Frage zu liefern, ob nicht auch durch äußere Einwirkung, d. h. in diesem Falle durch die Düngung, eine wesentliche Beeinflussung in der Zusammensetzung des Weizenkornes bewirkt werden kann. Die Untersuchungen wurden so durchgeführt, daß durch jeweils gestaffelte Gaben der Einfluß von Stickstoff, Kalium, Kalzium, Magnesium und Bor auf den Ertrag und den Gehalt der Körner an Stickstoff, Stärke, Zucker, Rohfaser und Asche festgestellt wurde. Die Klärung des Einflusses dieser Nährstoffelemente ist besonders wichtig, weil exakte und umfassende Arbeiten bisher beim Weizen nicht ausgeführt worden sind.

Die mir bekannten Ergebnisse in dieser Richtung sind stets an Versuchen auf praktischer Grundlage gewonnen worden und naturgemäß mit der Unsicherheit solcher Versuche behaftet. Der Einfluß der Düngung ist nach Schribaux (3), Pfaff (4) nur unbedeutend; Visser (5) fand sogar, daß die Güte des Weizens durch hohe Stickstoffdüngung vermindert wird. Scharnagel (6) berichtet, daß durch hohe Stickstoffdüngung bei gleichzeitiger hoher Kalizufuhr die Qualität des Weizens nicht herabgesetzt wird. Von wesentlich größerer Bedeutung als die Düngung erwiesen sich nach Schribaux (3), Pfaff (4) und Scharnagel (6) die Eigenschaften der Sorte.

---

*) Mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.
Diss. D6, Univ. Münster, 1938.

B. Methodisches.

1. Anzucht der Pflanzen.

Die Versuche wurden im Sommer 1937 im Vegetationshaus des Institutes durchgeführt. Als Versuchspflanze diente Sommerweizen (Triticum vulgare) und zwar die Sorte Hohenheimer Franken. Das Saatgut wurde freundlicherweise von der Saatzuchtanstalt Hohenheim zur Verfügung gestellt. Die Pflanzen wurden in der üblichen Weise in Mitscherlich-Töpfen zu je 3 Parallelen in jeder Reihe aufgezogen.

2. Düngungsplan.

Die Kulturgefäße erhielten zunächst eine Grunddüngung. Sie bestand bei den Töpfen der N-, K-, Mg- und B-Reihen aus 3 g $CaCO_3$, 2,42 g $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, 0,1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 g $MnSO_4$, 0,25 g NaCl. Bei den Ca-Reihen wurde folgende Grunddüngung gegeben: 0,25 g $CaCO_3$, 0,1 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1 g $MnSO_4$, 0,25 g NaCl. Außer der Grunddüngung wurden dem Sand in den einzelnen Reihen folgende Nährsalzmengen zugesetzt:

a) in den N-Reihen:

N^{I} 0,25 g N als NH_4NO_3
N^{II} 0,50 „ „ „ „
N^{III} 1,00 „ „ „ „
N^{IV} 1,50 „ „ „ „

+ 1 g K als K_2SO_4, 1 g $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$, 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

Um die Pflanzen vor NH_3-Vergiftung zu schützen, wurde der Stickstoff bei den mittleren und größeren Gaben zeitlich gestaffelt verabfolgt.

b) in den K-Reihen:

K^{I} 0,25 g K als K_2SO_4
K^{II} 0,50 „ „ „ „
$K^{III} = N^{III}$
K^{IV} 2,00 g K als K_2SO_4

+ 1 g N als NH_4NO_3, 1 g $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$, 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

c) in den Ca-Reihen:

Ca^{I} 0,1 g $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$
Ca^{II} 0,4 „ „
Ca^{III} 1,0 „ „
Ca^{IV} 3,0 „ „

+ 1 g N als NH_4NO_3, 1 g K (0,48 g KH_2PO_4 + 1,92 g K_2HPO_4), 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

Das Kalium in den Ca-Reihen wurde als primäres und sekundäres Kaliumphosphat gegeben, um einer einseitigen pH-Verschiebung vorzubeugen.

d) in den Mg-Reihen:

Mg^{I} 0,15 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$
Mg^{II} 0,30 „ „
$Mg^{III} = N_3$
Mg^{IV} 1,50 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

+ 1 g N als NH_4NO_3, 1 g K als K_2SO_4, 1 g $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$

e) in den B-Reihen:

B^{0} $= N_3$ kein Bor
B^{I} 0,01 mg B als $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$
B^{II} 0,1 „ „ „ „
B^{III} 1,0 „ „ „ „
B^{IV} 5,0 „ „ „ „
B^{V} 20,0 „ „ „ „

+ 1 g N als NH_4NO_3, 1 g K als K_2SO_4, 1 g $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$, 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$

Die Düngung ist gleich der, die Bercks (2) bei seinen Versuchen mit Gerste im Sommer 1937 angewandt hat. Alle Salze waren „pro analysi" von Merck (Darmstadt).

3. Bezugsgröße.

In Übereinstimmung mit Bercks (2) wählte ich als wichtigste Bezugsgröße das Einzel-Korn. Aus der Art der Problemstel-

lung, die das Korn in den Mittelpunkt aller Betrachtungen stellt, ergibt sich zwanglos diese Entscheidung. Daneben werden in den meisten Fällen zum Vergleich der Prozentwert und für einige besonders wichtige Bestandteile des Kornes auch die auf den Gesamtertrag eines Topfes bezogenen Werte angegeben.

Zur Ermittlung des Einzel-Korngewichtes wurde die Zahl der Körner eines jeden Topfes bestimmt und das Gesamt-Korngewicht durch die Kornzahl dividiert.

4. Ertrags- und Variationskurven.

Um ein einwandfreies Bild von der Zusammensetzung des Gesamt-Kornertrages zu bekommen, wurde mit der Torsionswaage das Gewicht eines jeden Kornes bestimmt. Durch Auszählung konnte dann die Häufigkeit der Gewichte in der Spanne von 1—75 mg ermittelt werden. Die so erhaltenen Häufigkeitszahlen wurden in geeigneter Form zusammengefaßt und dann zur graphischen Darstellung des Kornertrages benutzt. Zur Aufstellung der Werte für die Variationskurven wurde rechnerisch aus den absoluten Zahlen der prozentuale Anteil der einzelnen Gewichtsgruppen an der Gesamt-Kornzahl ermittelt.

5. Analysenmethoden.

Es erübrigt sich, in dieser Arbeit nochmals auf die im hiesigen Institut üblichen Analysenmethoden einzugehen [siehe Pröpsting (1) und Bercks (2)]. Beim Aufschluß des Mehles für die Bestimmung des Gesamt- und des löslichen Stickstoffs arbeitete ich mit dem Selenreaktionsgemisch nach Wieninger von Merck. Für die Stärkebestimmung ist zu erwähnen, daß die rechnerische Auswertung der Analysenergebnisse einige Schwierigkeiten bot, da für das Wengleinsche Verfahren der spezifische Drehungswinkel für Weizenstärke nicht bekannt war. Diese Konstante konnte nicht im Modellversuch ermittelt werden, weil reinste Weizenstärke in genügender Menge nicht zu erhalten war. Der spezifische Drehungswinkel für Weizenstärke ist nach dem Lintnerschen Verfahren mit 202,4° nur unwesentlich von dem für Gerstenstärke mit 200,3° verschieden. Ich entschloß mich daher, den für das Verfahren nach Wenglein bekannten spezifischen Drehungswinkel für Gerstenstärke auch für Weizenstärke anzunehmen. Er beträgt 192°.

6. Anatomische Untersuchungen.

Zur Ergänzung der chemischen Untersuchungen wurden noch anatomische Messungen ausgeführt. Die geplante Ausmessung der Stärkezellen mußte unterbleiben, weil die sehr große Zahl kleiner Stärkekörner nur geringe Aussicht auf einwandfreie Ergebnisse eröffnete. Die Methode der Flächenausmessung mit Hilfe des Polarplanimeters setzt zur Erzielung sicherer Werte eine gewisse Mindestgröße der Objekte voraus, die bei der überwiegenden Zahl der Stärkekörner beim Weizen nicht erreicht war. Die Ermittlung der Flächengröße der Aleuronzellen bot dagegen in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten.

Es wurden für jeden Topf 2 Körner ausgesucht, die das mittlere Einzel-Korngewicht besaßen. Von diesen beiden Körnern wurden zusammen 50 Zellen aus verschiedenen Gesichtsfeldern gezeichnet. Aus den 150 Messungen einer Versuchsreihe errechnete ich dann die mittlere Größe der Aleuronzellen.

C. Ergebnisse.

1. Vegetationsbeobachtungen.

3. Mai 1937: Aussaat.

19. Mai 1937: In der Mg-Mangelreihe zeigen die Blätter Marmorierungserscheinungen, die nach Jessen (7) für Mg-Mangel charakteristisch sind. Im Sommer 1938 beobachtete ich jedoch die gleichen Erscheinungen in sehr guter Ausprägung auch bei Roggenpflanzen, denen sehr reichlich Kalium geboten worden war. Es handelte sich beim Roggen aber offensichtlich nur um einen relativen Mg-Mangel [vgl. Itallie (8)]. Alle beobachteten Erscheinungen waren nach einigen Wochen wieder verschwunden. Damit wird die Ansicht von Gehring und Mitarbeitern (9) bestätigt, die in den Marmorierungserscheinungen nur ein schwächeres Mg-Mangelstadium erblicken.

6. Juni 1937: Die Pflanzen der höchsten Bor-Reihe scheinen geschädigt zu sein. Die Spitzen der Blätter sind gelb und vertrocknet. Die N-Mangelreihen weisen die bekannten Mangelerscheinungen auf. Die K-Mangelpflanzen stocken auffällig im Wachstum.

14. Juni 1937: Alle Ca-Reihen zeigen deutliche Phosphorsäureschäden. Die Blattspitzen sind abgestorben. Die höchste B-Reihe bleibt weiterhin im Wachstum zurück.

20. September 1937: Alle Pflanzen sind reif. Nach den N-Mangelpflanzen reiften zuerst die K-Mangelpflanzen Sehr spät geerntet wurden die Töpfe der obersten N-Reihe und der obersten B-Reihe.

2. Stickstoff-Reihen.

a) Ernteerträge.

Die schon vorher mitgeteilten Unterschiede im Wachstum der Pflanzen finden auch im zahlenmäßigen Ergebnis ihre Bestätigung (Tab. 1). Wir sehen, daß mit steigender N-Gabe die Kornzahl

Tabelle 1.
Ernteertrag der Stickstoff-Reihen.

Düngung	Zahl der Ähren	Kornzahl		Ges.-Korn in g	Einz.-Korn in mg	Stroh	Stroh : Korn
		je Topf	je Ähre				
N^{I} 0,25 g N	19 ± 0	225 ± 9,8	11,83 ± 0,52	9,11 ± 0,40	40,43 ± 0,66	21,92 ± 0,57	2,4
N^{II} 0,50 g N	19 ± 0,4	370 ± 5,5	19,16 ± 0,16	17,69 ± 0,55	47,73 ± 0,79	35,68 ± 0,22	2,0
N^{III} 1,0 g N	30 ± 0,9	694 ± 15,6	23,40 ± 0,76	20,50 ± 0,86	29,57 ± 0,54	47,04 ± 3,12	2,3
N^{IV} 1,5 g N	44 ± 1,7	797 ± 39,5	18,0 ± 0,64	19,06 ± 2,10	23,76 ± 1,46	50,57 ± 1,59	2,7

stark erhöht wird und die Zahl der Ähren durch die beiden oberen N-Gaben eine erhebliche Steigerung erfährt. Dieser letztere Befund deckt sich auch mit den Erfahrungen der Praxis. Es ist bekannt, daß durch Stickstoffdüngung die Bestandesdichte in Feldversuchen erhöht wird [Boekholt (10)]. Die Steigerung der Düngung von 0,25 g auf 0,5 g Stickstoff hatte noch keine Erhöhung der Ahrenzahl zur Folge. Die Gabe von 0,5 g war einerseits nicht ausreichend für eine Bestockung, andererseits aber ermöglichte sie es der Pflanze, sehr kräftige Halme aufzubauen. Die Halme erreichten mit einer Länge von 128 cm eine Größe, die von keiner anderen N-Reihe erreicht wurde(N^{I} = 115 cm, N^{II} = 128 cm,

N^{III} = 125 cm, N^{IV} = 115 cm). Die gleichen Halmlängen wurden sonst nur in den B-Reihen festgestellt. Um dem Einwand zu begegnen, daß es sich um dünne Halme gehandelt haben könnte, habe ich den Anteil eines Halmes am Strohgewicht berechnet. Er beträgt bei: N^{I} = 1,15g, N^{II} = 1,88g, N^{III} = 1,57g, N^{IV} = 1,15 g. Die Zahlen beweisen eindeutig die kräftige Ausbildung der Halme und damit die guten Voraussetzungen für die Ausbildung schwerer Körner. Ein Vergleich der beiden ersten Stickstoffreihen zeigt die Auswirkung dieser günstigen Verhältnisse. Wir finden eine erhebliche Erhöhung der Gesamt-Kornzahl und der Kornzahl je Ähre. Da aber auch das Einzel-Korngewicht ansteigt, nimmt das Gesamt-Korngewicht sehr erheblich und zwar um 100% zu. Der Anstieg des Einzel-Korngewichtes ist überraschend, da er nach den bisherigen Erfahrungen nicht erwartet werden konnte. Pröpsting (1) und Bercks (2) berichten beide übereinstimmend von einem Absinken des Einzel-Korngewichtes von der ersten bis zur letzten N-Reihe. Das abweichende Ergebnis in meinen Versuchen ist aber nicht von grundsätzlicher Bedeutung und, wie ich dargelegt habe, nur auf das Zusammentreffen mehrerer gunstiger Faktoren zurückzuführen. So sehen wir denn auch, daß mit der Erhöhung der Düngung von 0,5 auf 1,0 g Stickstoff das Einzel-Korngewicht erheblich absinkt. Die in dieser Reihe einsetzende Bestockung hat neben der Erhöhung der Kornzahl je Ähre eine stark vermehrte Gesamt-Kornzahl zur Folge. Das Einzel-Korngewicht fällt dagegen um 18 mg ab, so daß trotz der Erhöhung der Kornzahl das Gesamt-Korngewicht nicht wesentlich erhöht wird. Die weitere Steigerung der N-Gabe auf 1,5 g vermehrt zwar noch die Gesamt-Kornzahl, läßt aber das Gesamt-Korngewicht infolge des weiteren Absinkens des Einzel-Korngewichtes unverändert. Die in den Mittelwerten des Gesamt-Korngewichtes auftretende Verringerung ist nur auf das extreme Herausfallen eines Gefäßes zurückzuführen. In den Versuchen von Bercks (2) tritt bei der Erhöhung der N-Düngung trotz des konstant bleibenden Einzel-Korngewichtes noch eine Steigerung des Gesamt-Kornertrages der Gerste ein. Die Fähigkeit, dargebotene N-Mengen auszunutzen, ist daher offensichtlich bei der Gerste und beim Weizen nicht gleichmäßig ausgeprägt.

Sehr wichtig sind auch die Zahlen des Stroh : Korn-Verhältnisses. Sie zeigen, daß durch verschieden hohe N-Düngung eine Beeinflussung dieses Verhältnisses beim Weizen nicht erfolgt. Trotz der sehr erheblichen Unterschiede in den Kornerträgen bleibt es im wesentlichen konstant, da die Strohgewichte mit den Korngewichten gleichsinnig verschoben werden.

b) Kohlehydratgehalt.

Der Wert des Weizenkornes für die menschliche Ernährung wird maßgeblich durch zwei Faktoren beeinflußt: Kohlehydrat- und Eiweißgehalt. Der Kohlehydrat-, d. h. der Stärkegehalt, ist bestimmend für die mengenmäßige Ausbeute, der Eiweißgehalt dagegen für die Qualität des Mehles.

Tabelle 2.
Stärke- und Zuckergehalt der Stickstoff-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn in mg	Stärkegehalt Einz.-Korn in mg	Stärkegehalt Ges.-Korn in g	Stärkegehalt in %	Zuckergehalt Einz.-Korn in mg	Zuckergehalt in %	Stärke / Zucker
N^{I} 0,25 g N	40,43 ± 0,66	24,32 ± 0,35	5,48 ± 0,21	60,13 ± 0,42	1,11 ± 0,015	2,75 ± 0,078	21,9
N^{II} 0,50 g N	47,73 ± 0,79	28,59 ± 0,50	10,59 ± 0,34	59,89 ± 0,05	1,23 ± 0,054	2,57 ± 0,070	23,2
N^{III} 1,0 g N	29,57 ± 0,54	16,08 ± 0,48	11,09 ± 0,59	54,37 ± 0,63	0,70 ± 0,010	2,38 ± 0,028	22,8
N^{IV} 1,5 g N	23,76 ± 1,46	11,82 ± 0,87	9,50 ± 1,15	49,71 ± 0,58	0,60 ± 0,039	2,52 ± 0,098	19,9

Betrachten wir als wichtigsten Bestandteil der Kohlehydrate zunächst den Stärkegehalt. Die Analysenergebnisse (Tab. 2) bestätigen die von Bercks (2) gefundene Senkung des absoluten und prozentualen Stärkegehaltes im Korn durch steigende N-Gaben. Die günstige Stellung der 2. Reihe, auf die schon hingewiesen wurde, wird auch hier bestätigt. Die unbestockten Pflanzen dieser Reihe weisen in ihrem Kornertrag die gleiche Gesamt-Stärkemenge auf wie die reichlich bestockten Pflanzen der 3. und 4. Reihe. Die Schwankungen in den Werten fallen in die Fehlergrenzen.

Wenn wir den Ursachen nachgehen, die zur Änderung des Stärkegehaltes im Korn führen, so sehen wir uns erheblichen Schwierigkeiten gegenüber. Wir stellen z. B. fest, daß die beim Korn gemachten Beobachtungen nicht mit den Einflüssen des Stickstoffs auf die Photosynthese grüner Blätter übereinstimmen. So fanden Müller (11) und Müller und Larsen (12) bei ihren Versuchen, daß Blätter von mangelhaft mit Stickstoff ernährten Pflanzen eine herabgesetzte photosynthetische Leistung pro Blattflächeneinheit aufweisen. Gaßner und Goeze (13) berichten ebenfalls, daß mit steigender N-Düngung die Photosynthese gefördert wird.

Die Tatsache, daß die in unseren Körnern gefundenen Verhältnisse eine schwache assimilatorische Leistung beim N-Überschuß anzudeuten scheinen, ist daher zunächst unverständlich und könnte die oben angegebenen Befunde in Zweifel stellen. Doch zeigt der Einfluß des Stickstoffs auf das Wachstum, daß die fordernde Wirkung des Stickstoffs auf die Photosynthese sehr wohl vorhanden sein kann, ohne daß sie in der Zusammensetzung der Körner zum Ausdruck kommen muß. Wir wissen nämlich, daß neben der indirekten Wirkung des Stickstoffs auf die Photosynthese, die möglicherweise nach der Ansicht von Burström (14) über die Beeinflussung des Kationentransportes erfolgt, eine direkte und sicherlich bedeutendere Wirkung des Stickstoffs auf den Eiweißaufbau besteht. Der N-Mangel in den beiden unteren Reihen hat die Eiweißsynthese und damit die Bildung neuer Zellen gehemmt und gleichzeitig eine unvollständige Ausnutzung der

Assimilate bewirkt. Da aber nach Müller (11) diese zur Eiweißsynthese nicht verbrauchten Kohlehydrate im Stengel und in der Wurzel gespeichert werden, dürfen wir annehmen, daß sie bei der Reife den wenigen ausgebildeten Körnern zugeführt werden. Trotz verringerter photosynthetischer Leistung der Blätter kommt es somit zu einem Stärkeüberschuß in den Früchten [vgl. auch Bercks (2)].

Umgekehrt liegen die Verhältnisse in den Pflanzen, die zu reichlich mit Stickstoff ernährt worden sind. Die starke N-Zufuhr wird von der Pflanze mit der Synthese von Eiweißverbindungen beantwortet, die dann unter erneutem größeren Verbrauch an Kohlehydraten zum Aufbau neuer Zellen und Gewebe verwendet werden. Die Förderung der Photosynthese durch steigende N-Gaben, die vielleicht auch durch den starken Verbrauch an C-Verbindungen bewirkt wird, kommt infolge der fortgesetzten Bildung neuer Zellen den Körnern in keiner Weise zugute, da die Speicherung von Reservestoffen völlig vernachlässigt wird. Bei der Reife der zahlreich angelegten Früchte verfügt die Pflanze nicht über die notwendigen Mengen an Reservestoffen, um die Früchte normal versorgen zu können.

Die gleichen Verhältnisse wie beim Stärkegehalt finden wir auch beim Zuckergehalt. Die absoluten und auch die prozentualen Werte für den Zuckergehalt nehmen mit steigender Düngung ab. Eine Ausnahme macht nur der Prozentgehalt der obersten N-Reihe. Doch konnte schon vorher auf den hohen mittleren Fehler dieser Reihe hingewiesen werden.

Die gleichen Verhältnisse, wie sie in meinen Versuchen im Korn angetroffen werden, fand Flieg (15) in grünen Blättern. Der genannte Autor berichtet, daß in seinen Versuchen eine antagonistische Beziehung zwischen N-Verabreichung und Zuckerspiegel im grünen Blatt besteht. Er nimmt ebenfalls an, daß der aufgenommene Stickstoff einen Teil der Assimilate zur Eiweißbildung in Anspruch nimmt.

Das Verhältnis von unlöslichen : löslichen Kohlehydraten ist beim Weizen durch die Düngung nicht wesentlich beeinflußt worden. Selbst in der untersten N-Reihe erreicht das Verhältnis fast die Höhe der Werte der 2. und 3. Reihe, da Stärke und Zucker gleichsinnig beeinflußt worden sind.

Bercks (2) berichtet, daß das Verhältnis Stärke : Zucker in der obersten N-Reihe der Gerste zugunsten der Stärke verschoben und in der 3. und 4. N-Reihe des Hafers zugunsten des Zuckers verändert wird. Er findet dementsprechend auch einen prozentualen Anstieg des Zuckergehaltes in den oberen N-Reihen beim Hafer.

c) Stickstoffgehalt.

Es konnte im vorhergehenden Abschnitt darauf hingewiesen werden, daß die Güte des Weizenkornes durch den Stickstoffgehalt stark beeinflußt wird. Die Eiweißsubstanzen, die stets 90–95% des Gesamt-Stickstoffs enthalten, spielen für die Qualität des Weizenmehles eine entscheidende Rolle, da sie den für die Backfähigkeit wichtigen Kleber bilden.

Tabelle 3.

Stickstoffgehalt der N-Reihen.

Düngung	Einz.-Korn Gew. in mg	Gesamt-Stickstoff Einz.-Korn mg N	Gesamt-Stickstoff %	Eiweiß-Stickstoff Einz.-Korn mg N	Eiweiß-Stickstoff % des Ges.-N	Löslicher Stickstoff Einz.-Korn mg N	Löslicher Stickstoff % des Ges.-N	Eiweiß-N / löslich. N	Stärke / Eiweiß-N
N^I 0,25 g N	40,43 ± 0,66	0,678 ± 0,11	1,68	0,646 ± 0,11	95,28	0,0321 ± 0,0010	4,72	20,3	38
N^II 0,50 g N	47,73 ± 0,79	0,856 ± 0,006	1,80	0,814 ± 0,006	95,11	0,0419 ± 0,0005	4,89	19,4	35
N^III 1,0 g N	29,57 ± 0,54	0,777 ± 0,003	2,63	0,743 ± 0,002	95,55	0,0346 ± 0,0018	4,45	21,6	22
N^IV 1,5 g N	23,76 ± 1,46	0,754 ± 0,029	3,18	0,718 ± 0,029	95,23	0,0358 ± 0,0005	4,77	20	16

Die in Tabelle 3 zusammengestellten Ergebnisse der Stickstoffanalysen zeigen, daß mit steigenden N-Gaben der prozentuale Gehalt des Kornes an Gesamt-Stickstoff zunimmt. An diesem Anstieg sind Eiweiß-N und löslicher Stickstoff gleichmaßig beteiligt. Das Verhältnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff bleibt, von unwesentlichen, durch Ungleichmäßigkeiten in den Reihen bedingten Schwankungen abgesehen, konstant. Der absolute Gehalt an Gesamt-Stickstoff, Eiweiß-Stickstoff und löslichem Stickstoff fällt dagegen mit steigender N-Gabe ab.

Diese Ergebnisse sind, soweit sie den Prozentgehalt an Gesamt-Stickstoff und Eiweiß-Stickstoff betreffen, durch zahlreiche Ergebnisse anderer Autoren gesichert [Swanson (16), Pröpsting (1), Bercks (2) u. a.] Abweichend verhalt sich dagegen in meinen Versuchen das Verhaltnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff. Bercks (2) berichtet fur das Gerstenkorn von einer eindeutigen Verschiebung zugunsten des Eiweiß-Stickstoffs mit Erhohung der N-Gabe, während es beim Haferkorn praktisch konstant bleibt In den Versuchen Pröpstings (1) ist das Verhaltnis nicht eindeutig beeinflußt worden, wenn auch die Tendenz einer Verschiebung zugunsten des loslichen Stickstoffs bei höheren N-Gaben besteht. Dieses unterschiedliche Verhalten verschiedener Pflanzen kann bei der Kompliziertheit der Stoffwechselvorgange nicht uberraschen, besonders da wir stets die Erfahrung machen, daß individuelle Eigentümlichkeiten der Pflanze eine Rolle spielen. Interessant ist, daß Gaßner und Franke (17) fur junge Weizenblatter eine Verschiebung des Verhältnisses zugunsten des löslichen Stickstoffs bei steigenden N-Gaben gefunden haben. Wir sehen darin wieder, daß Verschiebungen in den grünen Blättern nicht unbedingt im Korn wiederkehren mussen. Außerdem wissen wir, daß während des Wachstums [Knowles und Mitarbeiter (18)] und während der Reife [Toulaikoff und Mitarbeiter (19)] der Stickstoffgehalt quantitativen und qualitativen Schwankungen unterworfen ist.

Ein weiteres, in meinen Versuchen scheinbar abweichendes Ergebnis stellt der klare Abfall der absoluten Stickstoffmengen im Korn bei steigender N-Gabe dar.

Bercks (2) findet sowohl beim Hafer als auch bei der Gerste eine einwandfreie Steigerung dieser Werte. Dieser Widerspruch erklärt sich aber zwanglos, wenn wir die Einzel-Korngewichte berücksichtigen. Die Korngewichte beim Hafer und bei der Gerste werden durch die Düngung in bedeutend engeren Grenzen beein-

flußt, da die großen Spelzenanteile eine Plastizität der Körner nur in kleinem Ausmaße zulassen. Eine erhöhte Einlagerung stickstoffhaltiger Verbindungen vermag daher trotz der Verringerung des Einzel-Korngewichtes den absoluten und den prozentualen Stickstoffgehalt der Körner zu erhöhen. In meinen Versuchen ist aber die Abnahme des Einzel-Korngewichtes so erheblich, daß die Steigerung im Stickstoffgehalt nur prozentual in Erscheinung treten kann.

Während das Verhältnis Eiweiß : löslichem Stickstoff gleich bleibt, finden in den Fraktionen selbst charakteristische Verschiebungen statt. Der prozentuale Anteil des Amid-Stickstoffs (Tab. 4) am löslichen Stickstoff, der nach den Untersuchungen von Schwab (20) bei Gramineen vorwiegend aus Asparagin besteht, nimmt mit steigender N-Gabe zu. Der Rest-Stickstoff, der

Tabelle 4.
Löslicher Stickstoff der N-Reihen.

Dungung	Doppelter Amid-N		Rest-N	
	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N
N^{I}	0,0068 ± 0,0004	21,29	0,0252 ± 0,0013	78,71
N^{II}	0,0090 ± 0,0003	21,57	0,0328 ± 0,0005	78,43
N^{III}	0,0085 ± 0,0004	24,73	0,0260 ± 0,0014	75,27
N^{IV}	0,0096 ± 0,0010	26,62	0,0262 ± 0,0005	73,38

den Stickstoff der α-Aminosäuren enthält, nimmt dagegen mit steigender Düngung ab.

Die Steigerung des Amid-Stickstoffs kann nach den Anschauungen Prianischnikows (21) als Ammoniakentgiftung gedeutet werden, da die Eiweißsynthese nicht proportional der N-Zufuhr gesteigert wird. Die Anhaufung von α-Aminosauren bei N-Mangel ist nach den Untersuchungen von Engel (22) eine typische N-Mangelerscheinung.

In der Zusammensetzung des Eiweiß-Stickstoffs kann ich typische Verschiebungen in meinen Versuchen nicht zeigen. Es sei hier aber auf eine von anderen Autoren festgestellte Wirkung des Stickstoffs auf die Klebergute hingewiesen.

Bekanntlich setzt sich das Eiweiß des Weizenkornes aus einem Albumin, aus Globulinen, aus Gliadin und Glutenin zusammen. Die beiden ersteren bilden hauptsächlich die Eiweißsubstanzen des Keimlings, während die beiden letzteren als die kleberbildenden Eiweißstoffe vorwiegend im Endosperm lokalisiert sind [Klein, Handbuch der Pflanzenanalyse, Bd. 4 (23)]. Nach den Untersuchungen von Duchou (24) fördert Stickstoffmangel die Bildung des Leimklebers, und zwar durch eine ungünstige Verschiebung des Gliadin-Glutenin-Verhaltnisses stark zugunsten des ersteren.

In Tabelle 3 finden wir auch noch das Verhältnis Stärke : Eiweiß-N. Wir sehen, daß das Verhältnis bei N-Mangel sehr günstig für den Stärkegehalt ist und daß es mit steigender Stickstoffdüngung immer kleiner wird. Damit finden auch die Anschauungen über die Beziehungen zwischen Stickstoffdüngung und Kohlehydratgehalt des Kornes eine Bestätigung.

In der Tabelle 5 sind die Gesamterträge und die Prozentwerte von Kornertrag, Stärke, Zucker und Eiweiß-N-Gehalt zusammengestellt worden. Diese Aufstellung soll auch dem Praktiker eine Auswertung der Versuchsergebnisse ermöglichen.

Tabelle 5.
Gesamterträge in den N-Reihen.

Düngung	Kornertrag	Stärkegehalt		Zuckergehalt		Eiweiß-Stickstoff	
	in g	in g	in %	in g	in %	in g	in %
N^{I} 0,25 g N	9,11 ± 0,40	5,48 ± 0,21	60,13	0,251 ± 0,010	2,75	0,146 ± 0,006	1,60
N^{II} 0,50 g N	17,69 ± 0,55	10,59 ± 0,34	59,89	0,456 ± 0,027	2,57	0,302 ± 0,003	1,71
N^{III} 1,0 g N	20,50 ± 0,86	11,09 ± 0,59	54,37	0,487 ± 0,017	2,38	0,514 ± 0,011	2,51
N^{IV} 1,5 g N	19,06 ± 2,10	9,50 ± 1,15	49,71	0,479 ± 0,050	2,52	0,575 ± 0,061	3,02

Ihn interessieren weniger die Verhältnisse im Einzel-Korn als Gesamterträge und Prozentgehalt. Die Tabelle zeigt, daß die unterste N-Gabe nur sehr geringe Erträge eingebracht hat. Daß aber nur der Stickstoff begrenzender Faktor gewesen ist, wird in eindeutiger Weise durch die Erhöhung der N-Gabe von 0,25 auf 0,5 g N bewiesen. Die doppelte N-Gabe hat in allen Fällen auch die Gesamterträge verdoppelt. Die Prozentwerte sind infolgedessen auch kaum wesentlich verändert worden. Eine Ausnahme macht nur der prozentuale Zuckergehalt, der deutlich absinkt, da auch der Gesamtzuckergehalt nicht ganz verdoppelt worden ist. Im Eiweißgehalt kündigt sich die prozentuale Erhöhung bei steigenden N-Gaben durch eine kleine Steigerung an. Der prozentuale Stärkegehalt bleibt konstant. Die weitere Erhöhung der N-Düngung in der 3. und 4. Reihe beeinflußt in wesentlichen Ausmaßen nur noch den Eiweißgehalt, der absolut und prozentual erheblich ansteigt. Die Prozentgehalte von Stärke und Zucker sinken infolge der bekannten antagonistischen Beziehung zum Eiweißgehalt.

d) Rohfaser- und Aschegehalt.

In der bisherigen Darstellung des Einflusses gestaffelter N-Gaben auf das Weizenkorn sind Kohlehydrate und Stickstoffverbindungen als Faktoren gekennzeichnet worden, die die Güte des Kornes und damit des Mehles beeinflussen. Es bleibt nun noch übrig, den Einfluß des Stickstoffs auf die Ausbildung der Zellwände zu schildern. Als Maß für den Zellulosegehalt des Kornes habe ich in Übereinstimmung mit Bercks (2) den Rohfasergehalt benutzt. Die in Tabelle 6 zusammengestellten Analysenergebnisse lassen erkennen, daß auch der Rohfasergehalt durch die Stickstoffdüngung beeinflußt wird. Den höchsten Rohfasergehalt weisen die Körner der 2. Reihe auf. In der 3. und 4. Reihe sinken die Werte wieder erheblich ab. Bercks (2) hat im Gegensatz zu diesen

Tabelle 6.
Rohfaser- und Aschegehalt der N-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gew. in mg	Rohfasergehalt		Stärke / Rohfaser	Aschegehalt	
		Einzel-Korn in mg	in %		Einzel-Korn in mg	in %
N^{I} 0,25 g N	40,43 ± 0,66	1,21 ± 0,041	2,99	20,2	0,829	2,05
N^{II} 0,50 g N	47,73 ± 0,79	1,72 ± 0,035	3,61	16,7	0,842 ± 0,036	1,77
N^{III} 1,0 g N	29,57 ± 0,54	1,21 ± 0,035	4,08	13,4	0,668 ± 0,028	2,26
N^{IV} 1,5 g N	23,76 ± 1,46	1,02 ± 0,050	4,36	11,7	0,580 + 0,021	2,45

Ergebnissen beim Hafer und bei der Gerste einen konstanten Rohfasergehalt gefunden und konnte darauf hinweisen, daß seine Ergebnisse mit denen, die Rahn (25) an anderen Objekten erzielte, übereinstimmen. Das abweichende Verhalten des Weizens von dem des Hafers und der Gerste wird aber verständlich, wenn wir berücksichtigen, daß der Einfluß der Düngung auf die einzelnen Korngewichte beim Weizen viel stärker ist als bei Hafer und Gerste. Bercks (2) hat einen großen Unterschied in den Einzel-Korngewichten nur zwischen der ersten und zweiten K-Reihe der Gerste gefunden. Gleichzeitig berichtet er aber, daß in der untersten K-Reihe der Gerste der Rohfasergehalt sehr stark von dem der übrigen Reihen abweicht. Weiter muß darauf hingewiesen werden, daß Bercks (2) in seinen Analysen stets die Spelzen miterfaßt hat, die aber, wie der Augenschein lehrt, kaum in ihrer Größe durch die Düngung beeinflußt werden. Es ist daher gut möglich, daß Unterschiede im Rohfasergehalt der eigentlichen Frucht durch den konstanten und mengenmäßig überwiegenden Rohfasergehalt der Spelzen verdeckt werden. Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die Verhältnisse beim Hafer und bei der Gerste nicht unbedingt mit denen des Weizens verglichen werden können, da hier die Veränderungen in der Frucht allein erfaßt werden.

Die prozentualen Rohfasergehalte werden durch steigende N-Düngung stark erhöht. Es ist jedoch zu beachten, daß diese Steigerung vorwiegend durch den starken Abfall des Stärkegehaltes bedingt ist.

In gleicher Weise wie die Rohfaser wird der Aschegehalt der Körner beeinflußt. Mit Ausnahme des Prozentgehaltes der Asche in der 2. N-Reihe werden alle Werte gleichsinnig mit der Rohfaser verändert. Je höher das Einzel-Korngewicht und damit verbunden auch der absolute Rohfasergehalt ist, um so größer ist auch der absolute Aschegehalt des Kornes. Der prozentuale Anteil der Aschenbestandteile nimmt dagegen mit sinkendem Einzel-Korngewicht, d. h. mit steigender N-Düngung, zu.

e) Formative Einflüsse des Stickstoffs.

Die hier geschilderten Untersuchungen sollen die Ergebnisse der chemischen Analyse durch die Feststellung der formativen Umgestaltungen ergänzen. Die Untersuchungen haben sich einmal auf die Ermittlung des Düngungseinflusses auf die Korngröße

(Korngewichte) und weiter am Beispiel der Aleuronzellen auf die Zellgröße erstreckt.

Die in Abbildung 1 dargestellten Variationskurven des Korngewichtes zeigen, daß durch N-Mangel die Korngewichte in das

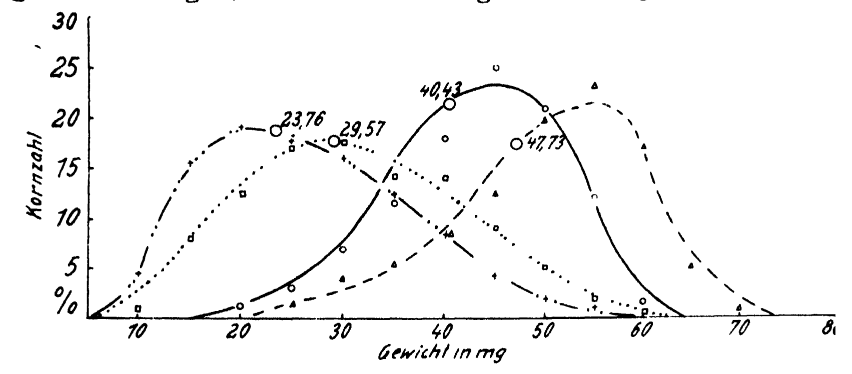


Abb. 1. Variationskurven des Korngewichtes der N-Reihen.
——— = N^{I}, — — — — = N^{II}, ... = N^{III}, — · · — · · = N^{IV},
o = mittlere Einzel-Korngewichte.

Gebiet der großen und durch N-Überdungung in das Gebiet der kleinen Körner verschoben werden. Es ist dabei bemerkenswert, daß nicht nur die Maxima verschoben werden, sondern auch die Ausbildung extrem großer und extrem kleiner Körner beeinflußt wird. Die in der Abbildung sichtbaren Verschiebungen finden ihren zahlenmäßigen Ausdruck in der Zusammenstellung in Tabelle 7. Dort beträgt der Anteil der kleinen Körner in den beiden unteren Reihen nur 1%, der Prozentsatz der großen dagegen 59,5% und 78,5%. Durch die höheren N-Gaben der beiden oberen Reihen wird der Anteil der großen Körner vermindert und der der kleinen und mittleren entsprechend gesteigert.

Tabelle 7.

Verteilung der Korngrößen in den N-Reihen.

Reihe	Kleine Körner bis 20 mg %	Mittlere Körner 21—40 mg %	Große Körner über 40 mg %
N^{I}	1,0	39,5	59,5
N^{II}	1,0	20,5	78,5
N^{III}	21,5	62,0	16,5
N^{IV}	39,0	54,0	7,0

Die Neigung hoher N-Gaben, größenvermindernd zu wirken, tritt auch bei den Aleuronzellen in Erscheinung (Tab. 8). Wenn wir die 1. Reihe unberücksichtigt lassen, die, wie wir gesehen haben, neben den typischen N-Mangelerscheinungen auch Merkmale einer Schädigung zeigt, dann erkennen wir, daß die Größe der Zellen mit steigender N-Gabe vermindert wird. Die Verkleinerung der Zellen ist neben der Senkung des Stärkegehaltes verant-

wortlich für den bereits festgestellten Anstieg des relativen Rohfasergehaltes, da mit sinkender Zellgröße der relative Anteil der Wandsubstanzen und damit der Rohfaser ansteigt. Es soll hier noch auf die interessante Beziehung zwischen Größe der Aleuronzellen und absolutem Eiweißgehalt der Körner hingewiesen werden. Beide Größen sind innerhalb der N-Reihen parallelen Schwankungen unterworfen, ohne daß wir entscheiden können, ob es sich hier um Wechselwirkungen oder um gleichsinnige Beeinflussungen handelt.

Tabelle 8.
Größe der Aleuronzellen in den N-Reihen.

N^{I}	N^{II}	N^{III}	N^{IV}
110	140	119	100

Die Werte bedeuten μ^2.

Die hier mitgeteilte formative Wirkung des Stickstoffs ist in der Literatur nicht unbekannt. Bredemann und Mitarbeiter (26) fanden, daß steigende N-Gaben die Größe der Stärkezellen in der Kartoffelknolle verkleinerten. Propsting (1) berichtet das gleiche für Stärke- und Aleuronzellen bei der Gerste. Es wurde oben schon auf die Bedeutung der Größe der Aleuronzellen für den Rohfasergehalt hingewiesen. Buchanan und Naudin [zit. bei Nerling (27)] haben weiter nachgewiesen, daß mit steigender Größe der Stärkezellen auch die Backfähigkeit der Weizenmehle verbessert wird.

3. Kali-Reihen.

a) Ernteerträge.

Wie schon bei den Vegetationsbeobachtungen mitgeteilt wurde, war das Wachstum des Weizens in der untersten K-Reihe außerordentlich schlecht. Die Ernteerträge in Tabelle 9 bestätigen den

Tabelle 9.
Ernteertrag der Kali-Reihen.

Düngung	Zahl der Ähren	Kornzahl		Ges.-Korn in g	Einz.-Korn in mg	Stroh	Stroh:Korn
		je Topf	je Ähre				
K^{I} 0,25 g K	31 ± 0,57	499 ± 38,81	16,06 ± 1	7,86 ± 1,24	15,53 ± 1,39	29,24 ± 1,94	3,9
K^{II} 0,50 g K	33 ± 0,4	744 ± 17,19	22,32 ± 0,29	20,93 ± 0,79	28,14 ± 0,88	42,10 ± 1,23	2,0
K^{III} 1,0 g K	30 ± 0,9	694 ± 15,6	23,40 ± 0,76	20,50 ± 0,86	29,57 ± 0,54	47,04 ± 3,12	2,3
K^{IV} 2,0 g K	32 ± 2,0	686 ± 21,72	21,51 ± 0,75	21,63 ± 0,57	31,55 ± 0,19	50,17 ± 0,83	2,3

verhängnisvollen Einfluß des K-Mangels auf die Ausbildung von Stroh und Korn. Die Steigerung der K-Gabe von 0,25 auf 0,5 erhöht die Kornzahl je Ähre um 50% und, da die Zahl der Ähren sich kaum ändert, auch die Gesamtkornzahl. Auch Boekholt (10) berichtet, daß Kalium keinen Einfluß auf die Bestandesdichte ausübt. Das Einzel-Korngewicht steigt rund auf das Doppelte, wäh-

rend der Gesamtertrag fast verdreifacht wird. Die Steigerung der K-Gabe von 0,5 auf 1,0 g bringt keine nennenswerte Erhöhung der Erträge, zumal, wie aus dem mittleren Fehler ersichtlich ist, die Schwankungen in den Reihen sehr groß sind. Einen gesicherten, wenn auch nicht sehr großen Mehrertrag bringt erst die Steigerung der K-Gabe auf 2,0 g. Diese Reihe zeichnet sich durch sehr gleichmäßige Erträge aus. Der Vergleich mit den entsprechenden Erträgen in den Versuchen von Bercks (2) zeigt, daß die hohe K-Gabe durch den Weizen besser ausgenutzt wird. Bercks (2) findet nämlich eine Ertragsverminderung sowohl beim Hafer als auch bei der Gerste. Das Verhältnis Stroh : Korn hat sich bei der Gerste wesentlich zugunsten des Kornes verschoben, während beim Weizen nur die Erhöhung der K-Gabe auf 0,5 g eine erhebliche Verbesserung des Verhältnisses hervorruft. Beim Hafer waren die Änderungen ebenfalls nur gering.

Es kann darauf verzichtet werden, auf die zahlreichen weiteren Arbeiten einzugehen, die den günstigen Einfluß des Kaliums auf den Kornertrag bestätigen. Erwähnt seien nur noch die Arbeiten von Hellriegel und Mitarbeitern (28), Blair (29), Lundegardh (30), in denen die gleichen Ergebnisse für Gerste, Weizen und Hafer mitgeteilt werden.

2. Kohlehydratgehalt.

Der Einfluß steigender N-Gaben auf den Kohlehydratgehalt äußerte sich vorwiegend in einer Verringerung der Stärkemenge im Einzel-Korn. Tabelle 10 zeigt, daß die Wirkung des Kaliums der des Stickstoffs entgegengesetzt ist. Größere K-Gaben steigern den absoluten wie den prozentualen Gehalt des Kornes an Stärke. Die auffälligste Erhöhung erfolgt naturgemäß von der 1. zur 2. Reihe.

Tabelle 10.
Stärke- und Zuckergehalt der Kali-Reihen.

Düngung	Einz.-Korn Gew. in mg	Stärkegehalt Einz.-Korn in mg	Stärkegehalt Ges.-Korn in g	Stärkegehalt %	Zuckergehalt Einz.-Korn in mg	Zuckergehalt %	Stärke / Zucker
K^{I} 0,25 g K	15,53 ± 1,39	7,10 ± 0,92	3,62 ± 0,69	45,36 ± 2,02	0,43 ± 0,03	2,80 ± 0,066	16,7
K^{II} 0,50 g K	28,14 ± 0,88	14,68 ± 0,43	10,92 ± 0,42	52,16 ± 0,23	0,68 ± 0,02	2,42 ± 0,010	21,6
K^{III} 1,0 g K	29,57 ± 0,54	15,99 ± 0,47	11,09 ± 0,59	54,37 ± 0,63	0,70 ± 0,01	2,38 ± 0,028	22,7
K^{IV} 2,0 g K	31,55 ± 0,19	17,23 ± 0,22	11,81 ± 0,39	54,61 ± 0,46	0,71 ± 0,01	2,25 ± 0,020	24,3

Hier steigt der absolute Stärkegehalt um 100%. Da das Einzel-Korngewicht nicht im gleichen Maße erhöht worden ist, nimmt der prozentuale Gehalt ebenfalls zu, und zwar von 45,36% auf 52,16%. Die weitere Steigerung der Kaligabe in der 3. und 4. Reihe vergrößert den absoluten Stärkegehalt bis zur obersten Reihe, während der Prozentgehalt nur bis zur 3. Reihe ansteigt.

Das Schrifttum über den Einfluß des Kaliums auf den Kohlehydratgehalt weist zahlreiche Arbeiten auf, die den von mir gefundenen Anstieg des Stärkegehaltes bestätigen [Nobbe und Mitarbeiter (31), Märker (32), James (33), Jacob(34), Wimmer und Ludecke (35), Bercks (2)].

Die Tabelle 10 zeigt weiterhin die Beeinflussung des Zuckergehaltes durch die Kalidüngung. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei der Stärke finden wir eine relative Anreicherung des Zuckers in der untersten K-Reihe. Der Prozentgehalt an Zucker weist in dieser Reihe den höchsten Wert auf und sinkt dann mit steigender Kaligabe. Infolge des geringen Einzel-Korngewichtes ist die absolute Zuckermenge jedoch kleiner als in den übrigen Reihen, die einen konstanten absoluten Zuckergehalt aufweisen. Dieses gegensätzliche Verhalten von Stärke und Zucker kommt auch im Verhältnis Stärke : Zucker zum Ausdruck, das in der untersten K-Reihe sehr ungunstig ist. Die Steigerung der K-Gabe von 0,25 auf 0,5 g K gestaltet es wesentlich günstiger; die weiteren K-Gaben haben dann zwar kleine, aber einwandfreie Erhöhungen zur Folge.

Die geschilderte Zunahme der löslichen Kohlehydrate bei K-Mangel ist von anderen Autoren auch an grünen Blättern beobachtet worden [Chokkanna (36), Tuitschin (37)]. Bercks (2) hat analoge Verhältnisse, wie ich sie beim Weizen gefunden habe, auch für Hafer und Gerste beschrieben.

b) Stickstoffgehalt.

Der Einfluß des Kaliums auf den Stickstoffgehalt des Weizenkornes (Tab. 11) stimmt mit den Beobachtungen von Bercks (2) beim Hafer- und Gerstenkorn völlig überein. Der von diesem Autor festgestellte Anstieg des absoluten Gehaltes an Gesamt-Stickstoff bei steigenden K-Gaben ist auch beim Weizen zu bemerken. Der absolute Gesamt-N-Gehalt des Kornes erfährt von der 1. zur 2. Reihe die bedeutende Erhöhung um 50%. Entsprechend den bisherigen Erfahrungen ist die Steigerung bei der Vergrößerung der K-Gabe auf 1,0 g nur unwesentlich, bei der Steigerung auf 2 g dagegen von Bedeutung. Die hier mitgeteilte Zunahme des Stickstoffgehaltes im Korn mit steigender K-Gabe ist besonders inter-

Tabelle 11.
Stickstoffgehalt der K-Reihen

Düngung	Einz.-Korn	Gesamt-Stickstoff		Eiweiß-Stickstoff		Löslicher Stickstoff		Eiweiß-N	Stärke
	Gew. in mg	Einz.-Korn mg N	%	Einz.-Korn mg N	% Ges.-N	Einz.-Korn mg N	% Ges.-N	löslich. N	Eiweiß-N
K^{I} 0,25 g K	15,53 ± 1,39	0,530 ± 0,021	3,44	0,495 ± 0,022	93,34	0,0351 ± 0,0006	6,66	14,2	14
K^{II} 0,50 g K	28,14 ± 0,88	0,763 ± 0,023	2,71	0,728 ± 0,021	95,36	0,0354 ± 0,0017	4,64	20,7	20
K^{III} 1,0 g K	29,57 ± 0,54	0,777 ± 0,003	2,63	0,743 ± 0,002	95,55	0,0346 ± 0,0018	4,45	21,6	22
K^{IV} 2,0 g K	31,55 ± 0,19	0,849 ± 0,012	2,69	0,811 + 0,011	95,51	0,0381 ± 0,0010	4,49	21,2	21

essant, da von anderen Autoren bisher immer die entgegengesetzte Wirkung des Kaliums beobachtet wurde. Daß es sich aber nicht um einen wirklichen Gegensatz handelt, ergeben die auf Lufttrockengewicht bezogenen Prozentwerte des Stickstoffs.

Sie zeigen nämlich ebenfalls die von Mevius und Dikussar (38), Schmalfuß (39), Weinmann (40), Propsting (1) u. a gefundene Senkung des prozentualen Stickstoffgehaltes durch steigende K-Gaben.

Die von Bercks (2) und mir gefundene Erhohung des Stickstoffgehaltes ist daher lediglich die Auswirkung der gunstigeren Bezugsgröße, die den wirklichen Verhältnissen im Korn gerechter wird. Auch Schmalfuß (39) und Pröpsting (1) außerten in ihren Arbeiten Bedenken gegen die von ihnen benutzte Bezugsgröße. Bei der Betrachtung der einzelnen Fraktionen des Gesamt-Stickstoffs ergibt sich, daß der absolute Gehalt an Eiweißstickstoff, ähnlich dem Gesamtstickstoff, mit steigender K-Gabe erhöht wird, und zwar auch hier von der 1. zur 2. Reihe besonders stark. Der lösliche Stickstoff dagegen bleibt in den ersten drei Reihen konstant und wächst nur von der 3. zur 4. Reihe an. Diese absoluten Zahlen in Verbindung mit den Einzel-Korngewichten deuten schon an, daß der lösliche Stickstoff in der Kali-Mangelreihe relativ angereichert sein muß. Besonders klar werden diese Verhältnisse, wenn wir den prozentualen Anteil der Fraktionen am Gesamt-Stickstoff vergleichen. Wir stellen dann fest, daß in der K-Mangelreihe der Anteil des Eiweiß-Stickstoffs gesenkt, der des löslichen Stickstoffs dagegen erhöht worden ist. In den ubrigen Reihen haben die Prozentwerte des Eiweiß-N und des löslichen Stickstoffs eine konstante Höhe. Die hier beschriebene Zusammensetzung des Gesamt-Stickstoffs wirkt sich naturgemäß auf das Verhältnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff aus, das nur in der untersten Reihe beeinflußt und zwar verschlechtert worden ist.

Die ungünstige Gestaltung des angegebenen Verhaltnisses bei K-Mangel ist auch von Mevius und Dikussar (38), Schmalfuß (39) und Turtschin (37) gefunden worden. Bercks (2) findet eine Verschlechterung nur beim Gerstenkorn, wahrend das Verhältnis beim Hafer nur unwesentlich verändert wird.

Es scheint mir wichtig, auch an dieser Stelle nochmals darauf hinzuweisen, daß wir bei der Besprechung des Kohlehydratgehaltes ebenfalls eine Ansammlung löslicher Verbindungen in der Kali-Mangelreihe gefunden haben. Wir können daher mit Propsting (1) annehmen, daß bei Kalimangel die synthetischen Prozesse gehemmt werden.

Tabelle 12 zeigt noch eine weitere wichtige Wirkung unzulänglicher Kali-Ernährung, nämlich die Anhäufung von Amid-Stickstoff in der untersten Reihe. Diese Anreicherung von Amid-Stickstoff, d. h. die weitgehende Entgiftung überschüssiger Ammoniakmengen, wird auf die oben vermutete Hemmung der synthetischen Prozesse zurückzuführen sein. Da nach den Anschauungen von Paech (41) Eiweißsynthese stets einsetzt, wenn genügend lösliche N-Verbindungen und lösliche Kohlehydrate in aktiver Form vorhanden sind,

Tabelle 12.

Löslicher Stickstoff der K-Reihen.

Düngung	Doppelter Amid-N		Rest-N	
	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N
K^I	0,0153 ± 0,0008	43,52	0,0198 + 0,0006	56,48
K^II	0,0071 ± 0,0004	19,97	0,0283 ± 0,0013	80,03
K^III	0,0085 ± 0,0004	24,73	0,0260 ± 0,0014	75,27
K^IV	0,0071 ± 0,0003	18,52	0,0310 ± 0,0007	81,48

spricht die große Amid-Stickstoffmenge dafür, daß die Hemmung der Photosynthese bei K-Mangel wahrscheinlich der primäre Vorgang ist, ob unmittelbar oder mittelbar, bleibe dahingestellt. Die Anreicherung der löslichen Kohlehydrate in der K-Mangelreihe steht dieser Annahme nicht entgegen, da sicherlich neben der Photosynthese auch die Polymerisation der Zucker gehemmt wird.

Diese Ansicht stimmt auch mit den Äußerungen anderer Autoren überein, die einen direkten Einfluß des Kaliums auf die Eiweißsynthese ebenfalls ablehnen [Pröpsting (1), Frank (42), Bercks (2) u. a.]. Dagegen sprechen die in den letzten Jahren gefundenen günstigen Wirkungen des Kalis auf die Photosynthese für eine engere Beziehung des Kaliums zum Kohlehydrat-Stoffwechsel der Pflanze, deren primäre Ursachen allerdings noch unbekannt sind [Gregory und Richards (43), Russel (44), Alten und Mitarbeiter (45)].

Die bevorzugte Förderung der Stärkesynthese durch das Kalium wird auch im Verhältnis Stärke : Eiweiß-N der Tabelle 11 sichtbar. Das Verhältnis wird mit steigenden K-Gaben günstiger, d. h. zum Vorteil der Stärke verschoben. Hier zeigt sich auch die mehrfach erwähnte antagonistische Beziehung zwischen Kalium und Stickstoff. Wir finden nämlich, wenn wir die Stickstoff- und Kalireihen vergleichen, daß N-Mangel und reichliche K-Düngung bzw. reichliche N-Düngung und K-Mangel jeweils die gleichen Wirkungen ausüben.

Tabelle 13.

Gesamterträge in den K-Reihen.

Düngung	Kornertrag	Stärkegehalt		Zuckergehalt		Eiweiß-Stickstoff	
	in g	in g	in %	in g	in %	in g	in %
K^I 0,25 g K	7,86 ± 1,24	3,62 ± 0,69	45,36	0,218 ± 0,030	2,80	0,248 ± 0,029	3,16
K^II 0,50 g K	20,93 ± 0,79	10,92 ± 0,42	52,16	0,506 ± 0,018	2,42	0,540 ± 0,014	2,58
K^III 1,0 g K	20,50 ± 0,86	11,09 ± 0,59	54,37	0,487 ± 0,017	2,38	0,514 ± 0,011	2,51
K^IV 2,0 g K	21,63 ± 0,57	11,81 ± 0,39	54,61	0,487 ± 0,010	2,25	0,560 ± 0,014	2,59

Die Zusammenstellung der Gesamterträge in Tabelle 13 veranschaulicht ebenfalls die äußerst ungünstige Wirkung der kleinen

K-Gabe. Mit Erhöhung der K-Düngung von 0,25 auf 0,5 g wird der Kornertrag von 7,86 g auf 20,93 g gesteigert. Der Stärkegehalt erfährt eine Verdreifachung seines absoluten und eine erhebliche Steigerung seines Prozentwertes. Gesamtzucker- und Gesamt-Eiweiß-N werden trotz der Verminderung ihrer prozentualen Anteile weit über das Doppelte erhöht. Die Steigerung der K-Gabe von 0,5 auf 1,0 g hat auch in den Gesamterträgen keine besondere Wirkung erzielt, lediglich die Prozentwerte erfahren eine Verschiebung, die aber nur bei der Stärke von praktischem Interesse ist. Die hohe K-Gabe hat dagegen die Erträge um zwar kleine, aber deutlich wahrnehmbare Mengen verbessert. Der Kornertrag ist etwas erhöht, und zwar ist diese Erhohung vorwiegend der Stärke, zum kleineren Teil dem Eiweiß zugute gekommen.

Die Frage nach der besten Ernährung der Weizenpflanze kann — das zeigen die bisher besprochenen Ergebnisse deutlich — nur bei einer gleichzeitigen Berucksichtigung des Kalium- und Stickstoffbedarfes der Pflanze beantwortet werden. Wir konnten feststellen, daß der Stärke- und der Eiweißgehalt antagonistisch durch die beiden Elemente beeinflußt werden.

Auf diese Tatsache ist auch schon von zahlreichen anderen Autoren hingewiesen worden [Russel (44), Weinmann (40)] Nach Scharnagel (6) erlaubt eine reichliche K-Dungung die volle Ausnutzung der ertragssteigernden Wirkung des Stickstoffs, ohne daß eine Qualitatseinbuße in Kauf genommen werden muß.

d) Rohfaser- und Aschegehalt.

Gleich der N-Düngung beeinflußten auch die K-Gaben den Rohfasergehalt der Körner sehr deutlich. Die Beeinflussung vollzieht sich, entsprechend den bisher stets gemachten Erfahrungen, in gegensätzlichem Sinne zur N-Wirkung. Mit steigender K-Gabe nimmt der absolute Rohfaser-Gehalt des Kornes zu, der prozentuale Anteil dagegen ab (Tab. 14). Worauf allerdings der Abfall der 3. Reihe beruht, entzieht sich meiner Kenntnis. Er durfte mit gewissen Schwierigkeiten der Analysenmethode zusammenhangen, die leider erst zu spät bemerkt wurden.

Tabelle 14.

Rohfaser- und Aschegehalt der K-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gew. in mg	Rohfasergehalt		Starke / Rohfaser	Aschegehalt	
		Einzel-Korn in mg	in %		Einzel-Korn in mg	in %
K^{I} 0,25 g K	15,53 ± 1,39	1,04 ± 0,045	6,13	6,8	0,488	3,14
K^{II} 0,50 g K	28,14 ± 0,88	1,49 ± 0,027	5,01	9,9	0,640 ± 0,016	2,28
K^{III} 1,0 g K	29,57 ± 0,54	1,21 ± 0,035	4,08	13,4	0,668 ± 0,028	2,26
K^{IV} 2,0 g K	31,55 ± 0,19	1,40 ± 0,045	4,41	12,4	0,710 ± 0,011	2,25

Das Verhältnis Stärke : Rohfaser, das in den N-Reihen mit steigenden Gaben schlechter wurde, wird durch die Kalidungung günstiger gestaltet. Der Wert für die 3. Reihe durfte aus dem oben genannten Grunde zu hoch sein.

Deutlicher noch als der Rohfasergehalt ist der Aschegehalt der Körner beeinflußt worden. Der absolute Aschegehalt steigt stetig an. Nach der bedeutenden Zunahme von der 1. zur 2. Reihe sind die weiteren Steigerungen nur mäßig. Der prozentuale Aschegehalt des Kornes erfährt darum auch nur von der 1. zur 2. Reihe eine erhebliche Senkung und bleibt dann konstant. Es zeigt sich also, daß nur der extreme Kalimangel den Mineralstoffgehalt des Kornes wesentlich beeinflußt.

Jacob (34) fand dementsprechend auch, daß unter den Verhältnissen der Praxis steigende Kaligaben den Aschegehalt der Getreidekörner nicht wesentlich verändern. Lundegardh (30) (s. Tab. 19 und 81) stellte ebenfalls fest, daß, abgesehen von den extrem kleinen Kaligaben, der Aschegehalt der Haferkorner bzw. der Gehalt an K, Ca und Mg nur schwach beeinflußt wird.

e) Formative Einflusse des Kaliums.

Die Variationskurven der Korngewichte in Abbildung 2 zeigen deutlich, wie extrem die Korngewichte durch den Kalimangel be-

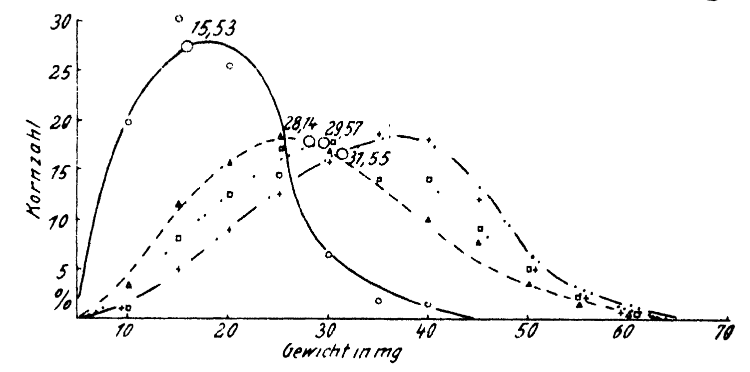


Abb. 2. Variationskurven des Korngewichtes der K-Reihen.

———— = K^I, — — — — = K^II, ... = K^III, ·· — ·· = K^IV, o = mittlere Einzel-Korngewichte.

einflußt werden. Die Kurve K^I verläuft fast völlig im Gebiete der kleinen Körner und hat einen steil aufgerichteten Gipfel. In der Tabelle 15 beträgt der Anteil der kleinen Körner in der 1. Reihe

Tabelle 15.

Verteilung der Korngrößen in den K-Reihen.

Reihe	Kleine Körner bis 20 mg %	Mittlere Körner 21—40 mg %	Große Körner über 40 mg %
K^I	76,0	24,0	—
K^II	30,5	56,5	13,0
K^III	21,5	62,0	16,5
K^IV	15,0	65,0	20,0

76,0%, während große Körner völlig fehlen. Die Steigerung der Korngewichte durch die 2. K-Gabe kommt durch die Verlagerung

der Kurve K^{II} gut zum Ausdruck. Wir stellen weiter fest, daß die Steigerungen der K-Gabe in der 3. und 4. Reihe die Kurven K^{III} und K^{IV} zwar deutlich, aber nur in geringem Umfange verschieben. Der Anteil (s. Tab. 15) der kleinen Körner sinkt stetig, während der der mittleren und großen Körner stark ansteigt.

Die gleiche vergrößernde Wirkung steigender Kaligaben finden wir auch in der Beeinflussung der Aleuronzellen (Tab. 16). Es ist auffällig, daß der sprunghafte Anstieg von der 2. zur 3. Reihe erfolgt und nicht, wie anzunehmen war, von der 1. zur 2. Reihe. Doch wird die gleichbleibende Größe der Aleuronzellen in den beiden unteren Reihen verständlich, wenn wir bedenken, daß mit der starken Vergrößerung der Körner in der 2. Reihe auch die Zahl der Aleuronzellen vermehrt wird. Erst die weitere Steigerung der K-Gabe erhöht auch die Große der Aleuronzellen.

Tabelle 16.

Größe der Aleuronzellen in den K-Reihen.

K^{I}	K^{II}	K^{III}	K^{IV}
98	99	119	116

Die Werte bedeuten μ^2.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der N-Reihen geben die hier gemachten Beobachtungen keine Anhaltspunkte fur eine Beziehung zwischen Größe der Aleuronzellen und absolutem Eiweißgehalt der Körner. So ist in der 2. Reihe der Eiweißgehalt stark gestiegen, während die Größe der Aleuronzellen konstant bleibt. Wir mussen aber gerade bei dieser Reihe vermuten, daß die Vergroßerung des Mehlkörpers einen großen Teil der vermehrt eingelagerten Eiweißstoffe in Anspruch nimmt.

4. Kalzium-Reihen.

a) Ernteerträge.

Der Einfluß des Kalziums auf den Ertrag ist weit geringer als der des Stickstoffs und des Kaliums. Einen bedeutenden Einfluß hatte nur der Ca-Mangel der untersten Reihe, der eine Senkung der Kornzahl, des Korngewichtes und des Gesamt-Kornertrages zur Folge hatte (Tab. 17). Das Stroh dagegen wurde relativ gut ausgebildet, so daß das Verhaltnis Stroh : Korn in dieser Reihe zugunsten des Strohanteils verschoben ist. Die hohe Ca-Reihe hat ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße, den Kornertrag vermindert. Bemerkenswert ist aber, daß die Ausbildung des Strohs in der obersten Ca-Reihe bedeutend stärker gehemmt worden ist als die des Kornes. Es ist daher beim Weizen die Ausbildung der Halme durch Ca-Mangel weniger, durch Ca-Überschuß aber weit mehr beeinflußt worden als die Ausbildung der Körner. Das Verhältnis Stroh : Korn fällt dadurch mit steigender Ca-Gabe zwar nicht sehr stark, doch stetig ab. Wir mussen abschließend noch darauf hinweisen, daß keine Ca-Reihe die optimalen Erträge

Tabelle 17.

Ernteertrag der Kalzium-Reihen.

Düngung*)	Zahl der Ähren	Kornzahl je Topf	Kornzahl je Ähre	Ges.-Korn in g	Einz.-Korn in mg	Stroh	Stroh : Korn
Ca^{I}							
0,1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	27 ± 1,68	630	23,13	13,31	21,06	37,33	2,8
= 23,3 mg Ca		± 17,23	± 0,77	± 0,94	± 0,94	± 3,11	
Ca^{II}							
0,4 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	30 ± 0,4	703	23,70	18,61	26,64	42,23	2,3
= 93,2 mg Ca		± 41,70	± 1,44	± 0,38	± 1,69	± 1,64	
Ca^{III}							
1,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	28 ± 0,4	680	24,53	18,83	27,68	41,37	2,2
= 232,8 mg Ca		± 10,41	0,29	± 0,66	± 0,67	± 0,94	
Ca^{IV}							
3,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	27 ± 1,35	684	25,00	17,28	25,20	33,99	2,0
= 698,4 mg Ca		39,10	0,53	± 1,39	± 0,71	± 1,13	

*) + 0,25 g $CaCO_3$ in der Grunddüngung (= 100 mg Ca).

der anderen Düngungsgruppen erreicht hat, was wahrscheinlich auf die Phosphorsäureschäden während des frühen Wachstums zurückzuführen ist.

Beim Vergleich der Versuchsergebnisse des Weizens mit denen der Gerste in den Versuchen von Bercks (2) stellen wir fest, daß der Weizen höhere Ansprüche an die Ca-Düngung stellt als die Gerste. Bei gleicher Düngung sind in der untersten Reihe der Gerste die Erträge fast normal, während sie beim Weizen erheblich gesenkt sind. Auch erreicht die Gerste schon bei der 2. Gabe die optimalen Erträge, der Weizen dagegen erst mit der 3. Ca-Gabe.

Den geringeren Ca-Bedarf der Gerste stellte auch Meyer [zit. bei Schneidewind, S. 383 (46)] fest, indem er nachwies, daß die Gerste in der Vegetationszeit dem Boden 21,9 kg CaO/ha, der Weizen dagegen 31,3 kg CaO/ha, entnimmt.

Tabelle 18.

Stärke- und Zuckergehalt der Kalzium-Reihen.

Düngung*)	Einzel-Korn Gew. in mg	Stärkegehalt Einzel-Korn in mg	Stärkegehalt Ges.-Korn in g	Stärkegehalt %	Zuckergehalt Einzel-Korn in mg	Zuckergehalt %	Stärke / Zucker
Ca^{I}							
0,1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	21,06	10,19	6,44	48,37	0,51	2,43	19,8
= 23 mg Ca	± 0,94	± 0,48	± 0,47	± 0,22	± 0,025	± 0,020	
Ca^{II}							
0,4 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	26,64	13,83	9,65	51,87	0,64	2,46	21,7
= 93,2 mg Ca	± 1,69	± 0,94	± 0,27	± 0,45	± 0,042	± 0,030	
Ca^{III}							
1,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	27,68	14,03	9,55	50,67	0,65	2,35	21,6
= 232,8 mg Ca	± 0,67	± 0,38	± 0,35	± 0,19	± 0,015	± 0,036	
Ca^{IV}							
3,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	25,20	12,70	8,72	50,38	0,60	2,39	21,1
= 698,4 mg Ca	± 0,71	± 0,46	± 0,76	± 0,39	± 0,018	± 0,010	

*) + 0,25 g $CaCO_3$ in der Grunddüngung (= 100 mg Ca).

b) Kohlehydratgehalt.

Nach Tabelle 18 ist der Einfluß des Kalziums auf den Kohlehydratgehalt des Kornes ebenfalls gering. Nur in der untersten Ca-Reihe ist es zu einer deutlichen Verminderung des absoluten und des prozentualen Stärkegehaltes gekommen. Die mittleren Reihen weisen den höchsten Stärkegehalt auf. Entsprechend dem verringerten Einzel-Korngewicht der 4. Reihe nimmt der absolute Stärkegehalt in dieser Reihe wieder ab. Der Prozentgehalt bleibt dagegen auf der gleichen Höhe wie in der 3. Reihe. Die Ergebnisse, die Bercks (2) bei der Gerste erzielt hat, stimmen mit den angeführten des Weizens überein, nur daß die Gerste aus den früher dargelegten Gründen den höchsten Starkegehalt schon mit der 2. Ca-Gabe erreicht hat.

Der Zuckergehalt ergibt, soweit die absoluten Werte in Frage kommen, ähnliche Verhältnisse. Auch hier weisen die mittleren Reihen den höchsten Zuckergehalt, die unterste und oberste Reihe entsprechend ihrem verminderten Einzelkorngewicht kleinere Mengen auf. Die Prozentwerte für den Zuckergehalt ergeben kein klares Bild, da die Unterschiede nur sehr gering sind.

Der Vergleich dieser an Früchten gewonnenen Versuchsergebnisse mit den an grünen Teilen der Pflanzen erzielten deckt wesentliche Unterschiede auf.

Nightingale und Mitarbeiter (47) berichten von einer Erhöhung des Stärkegehaltes der Pflanzen bei Ca-Mangel. Die von Boehm (48) begründete Anschauung, daß durch Ca-Mangel die Auflosung der Starke und der Abtransport des Zuckers gehemmt seien, ist nach Nightingale und Mitarbeitern (47) jedoch nicht haltbar. Sie haben in ihren Versuchen Zucker und selbst Stärkekörner in allen Teilen der Pflanzen, die unter Ca-Mangel litten, nachgewiesen. Im Gegensatz hierzu haben Tiedjens und Mitarbeiter (49) mit sinkenden Ca-Gaben einen Abfall des Kohlehydratgehaltes im Blatt und im Stengel der Tomatenpflanze festgestellt.

Da diese letztgenannten Ergebnisse (49) mit den von mir festgestellten übereinstimmen, kann die Ansicht dieser Autoren, daß ihre unterste Ca-Gabe noch zu groß war, vielleicht auch für meine Versuche gelten. Doch erscheint mir eine Entscheidung darüber nicht möglich, da die Zahl der Untersuchungen über den Einfluß geringster Kalziumgaben auf den Kohlehydratgehalt noch zu klein ist.

Es ist auch nicht Zweck meiner Arbeit, den Einfluß extrem kleiner Kalziumgaben festzustellen, da solche bei praktischen Voraussetzungen für die Weizenpflanzen niemals gegeben sind Es ist außerdem zu erwähnen, daß Gaßner und Goeze (13) keine Beeinflussung der photosynthetischen Intensität junger Weizenblätter durch gestaffelte Ca-Gaben feststellen konnten

c) Stickstoffgehalt.

Auch der Stickstoffgehalt des Kornes wird durch das Kalzium nicht wesentlich beeinflußt, wenn auch festgestellt werden kann, daß die Analysenwerte (Tab. 19) in den Schwankungen den Einzel-Korngewichten meistens folgen. So nimmt der Gesamt-Stickstoff und ebenso der Eiweiß-Stickstoff in den absoluten Werten bis zur 3. Reihe zu und fällt dann mit dem Einzel-Korngewicht wieder ab.

Tabelle 19.
Stickstoffgehalt der Ca-Reihen.

Düngung*)	Einz.-Korn	Gesamt-Stickstoff		Eiweiß-Stickstoff		Löslicher Stickstoff		Eiweiß-N	Stärke
	Gewicht in mg	Einz.-Korn mg N	%	Einz.-Korn mg N	% Ges.-N	Einz.-Korn mg N	% Ges.-N	löslich. N	Eiweiß-N
Ca^{I} 0,1 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ = 23,3 mg Ca	21,06 ± 0,94	0,648 ± 0,027	3,08	0,616 ± 0,027	95,08	0,0318 ± 0,0006	4,92	19,3	17
Ca^{II} 0,4 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ = 93,2 mg Ca	26,64 ± 1,69	0,752 ± 0,035	2,84	0,717 ± 0,034	95,31	0,0351 ± 0,0012	4,69	20,4	19
Ca^{III} 1,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ = 232,8 mg Ca	27,68 ± 0,67	0,775 ± 0,012	2,80	0,741 ± 0,011	95,65	0,0337 ± 0,0006	4,35	22,0	19
Ca^{IV} 3,0 g $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ = 698,4 mg Ca	25,20 ± 0,71	0,706 ± 0,007	2,81	0,669 ± 0,007	94,86	0,0366 ± 0,0008	5,14	18,3	19

*) + 0,25 g $CaCO_3$ in der Grunddüngung (= ~ 100 mg Ca).

Abweichend verhält sich der lösliche Stickstoff, dessen absolute Werte nicht gleichmäßig verändert worden sind. Der prozentuale Gehalt des Weizenkornes an Gesamt-Stickstoff fällt von der 1. zur 2. Reihe deutlich ab; dann bleibt er konstant. Die Werte für die prozentuale Beteiligung von Eiweiß-Stickstoff und löslichem Stickstoff am Gesamt-N verändern sich gegensätzlich in der Art, daß mit steigendem Einzel-Korngewicht der Prozentgehalt an Eiweiß-Stickstoff zu- und der an löslichem Stickstoff abnimmt. Die Unterschiede sind zwar nicht groß, können aber trotzdem als gesichert gelten. Sie genügen, um das Verhältnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff zu beeinflussen. Ein Vergleich mit den entsprechenden Analysenergebnissen von B e r c k s (2) zeigt, daß auch bei der Gerste der Einfluß des Kalziums auf den Stickstoffgehalt sich im wesentlichen auf die Schwankungen beschränkte, die durch das verschiedene Einzel-Korngewicht bedingt wurden. Die geringe Beeinflussung des Stickstoffgehaltes spiegelt sich auch in der Zusammensetzung des löslichen Stickstoffs wider (Tab. 20). Der Amid-Stickstoff ist in seinen absoluten Werten in den ersten drei Reihen konstant und steigt erst in der 4. Reihe deutlich an. Der Gehalt an Rest-Stickstoff dagegen ist in der untersten Reihe am geringsten

Tabelle 20.
Löslicher Stickstoff der Ca-Reihen.

Düngung	Doppelter Amid-N		Rest-N	
	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N
Ca^{I}	0,0082 ± 0,0006	26,01	0,0235 ± 0,0008	73,99
Ca^{II}	0,0080 ± 0,0002	22,66	0,0272 ± 0,0011	77,34
Ca^{III}	0,0078 ± 0,0004	21,30	0,0259 ± 0,0007	78,70
Ca^{IV}	0,0091 ± 0,0009	25,06	0,0275 ± 0,0006	74,94

und bleibt dann in den übrigen Reihen ziemlich gleich. Die Prozentzahlen zeigen, daß die beiden günstigen Ca-Gaben einen hohen Prozentsatz an Rest-Stickstoff bewirken. Die unterste und oberste Reihe sind reich an Amid-Stickstoff.

Eine vergleichende Besprechung der an Früchten gewonnenen Ergebnisse mit den an grünen Pflanzen gefundenen kann unterbleiben, da ebenso wie beim Stärke- und Zuckergehalt die Ergebnisse der wenigen bekannten Arbeiten unsicher sind. Ich verweise auf die Arbeiten von Nightingale und Mitarbeiter (47) und Tiedjens und Mitarbeiter (49), die schon beim Kohlehydratgehalt erwähnt wurden.

Tabelle 21.
Gesamterträge in den Ca-Reihen.

Düngung	Kornertrag in g	Stärkegehalt in g	Stärkegehalt in %	Zuckergehalt in g	Zuckergehalt in %	Eiweiß-Stickstoff in g	Eiweiß-Stickstoff in %
Ca^{I} 23,3 mg Ca	13,31 ± 0,94	6,44 ± 0,47	48,37	0,324 ± 0,023	2,43	0,389 ± 0,027	2,92
Ca^{II} 93,2 mg Ca	18,61 ± 0,38	9,65 ± 0,27	51,87	0,457 ± 0,014	2,46	0,501 ± 0,006	2,69
Ca^{III} 232,8 mg Ca	18,83 ± 0,66	9,55 ± 0,35	50,67	0,442 ± 0,013	2,35	0,504 ± 0,012	2,68
Ca^{IV} 698,4 mg Ca	17,28 ± 1,39	8,72 ± 0,76	50,38	0,412 ± 0,033	2,39	0,456 ± 0,026	2,64

Tabelle 21 bringt eine Zusammenstellung der Gesamterträge, wie sie auch für die Stickstoff- und Kaliumreihen gegeben wurden. In dieser Tabelle wird die schon oft betonte günstige Wirkung der beiden mittleren Ca-Gaben ebenfalls sichtbar. Alle angegebenen Gesamterträge erreichen bei dieser Düngung ihre besten Werte Ca-Mangel und Ca-Überschuß haben dagegen ertragsvermindernd gewirkt.

d) Aschegehalt.

Beim Aschegehalt der Ca-Reihen herrschen die gleichen Verhältnisse, die wir in den mittleren und höheren K-Reihen festgestellt haben. Da in den Ca-Reihen auch bei den untersten Gaben von einem extremen Mangel ähnlich wie beim Kalium, nicht gesprochen werden kann, ist der Vergleich der genannten K-Reihen mit denen der Ca-Reihen durchaus berechtigt. Die absoluten Werte des Aschegehaltes schwanken gleichmäßig mit dem Einzel-Korngewicht, während der Prozentgehalt ziemlich konstant bleibt. Die Schwankungen sind ohne Bedeutung, da eine einheitliche Tendenz nicht zu erkennen ist.

Tabelle 22.
Aschegehalt der Ca-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gewicht in mg	Aschegehalt Einzel-Korn in mg	Aschegehalt Einzel-Korn in %
Ca^{I}	21,06 ± 0,94	0,523 ± 0,008	2,49
Ca^{II}	26,64 ± 1,69	0,634 ± 0,032	2,38
Ca^{III}	27,68 ± 0,67	0,705 ± 0,029	2,55
Ca^{IV}	25,20 ± 0,71	0,599 ± 0,011	2,38

e) Formativer Einfluß des Kalziums.

Der Einfluß des Kalziums auf die in Abb. 3 wiedergegebenen Variationskurven der Korngewichte ist sehr gering. Die Kurven

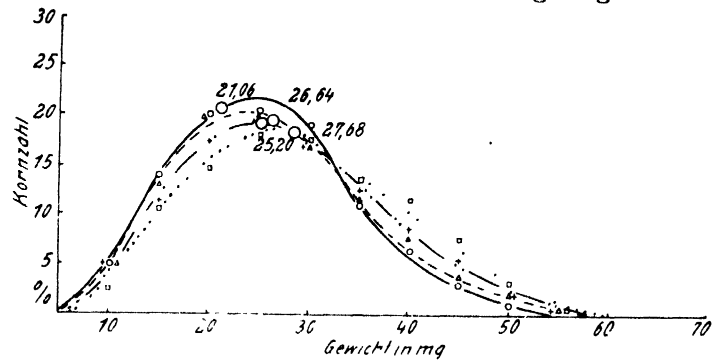


Abb. 3. Variationskurven des Korngewichtes der Ca-Reihen.

———— Ca^{I}, — — — — - Ca^{II}, ... = Ca^{III}, — · · — · · = Ca^{IV}, o = mittlere Einzel-Korngewichte.

fallen weitgehend zusammen, wenn auch festgestellt werden kann, daß die geringen Unterschiede gleichsinnig mit den Schwankungen des Korngewichtes verlaufen.

Aus der Tabelle 23 ist gleichfalls zu ersehen, daß die Anteile der Korn-Gewichtsgruppen nicht in dem Maße verschoben werden wie bei den N- und K-Reihen. Lediglich die günstigste Ca-Gabe in der 3. Reihe verringert den Anteil der kleinen Körner um einen deutlichen Betrag und vermehrt dementsprechend die mittleren und großen Korner.

Tabelle 23.

Verteilung der Korngrößen in den Ca-Reihen.

Reihe	Kleine Körner bis 20 mg %	Mittlere Körner 21 bis 40 mg %	Große Körner über 40 mg %
Ca^{I}	39,0	57,0	4,0
Ca^{II}	38,0	56,0	6,0
Ca^{III}	27,5	61,5	11,0
Ca^{IV}	34,5	57,5	8,0

Es ist eigenartig, daß trotz der geringen Ca-Wirkung auf die Korngewichte die Aleuronzellen beeinflußt und zwar durch die mittleren Ca-Gaben vergroßert werden (Tab. 24). Die deutlich erkennbare Beziehung zwischen Aleuron-Zellgröße und Eiweißgehalt des Kornes läßt aber vermuten, daß die Vergrößerung der Aleuronzellen nur die sekundäre Folge der primär verstärkten Einlagerung von Eiweißsubstanzen darstellt. Der größere absolute Eiweißgehalt der Körner in den beiden mittleren Ca-Reihen hat wahrscheinlich zu einer Dehnung der Zellen geführt. Für eine primäre Wirkung des Ca auf die Zellgröße sprechen die Ergeb-

Tabelle 24.
Größe der Aleuronzellen in den Ca-Reihen.

Ca^{I}	Ca^{II}	Ca^{III}	Ca^{IV}
104	114	116	103

Die Werte bedeuten μ^2.

nisse wohl nicht, besonders wenn wir berücksichtigen, daß ein Einfluß des Ca auf die Korngewichte nicht vorhanden ist.

Wenn wir uns an dieser Stelle an die formative Wirkung des Kaliums erinnern, erkennen wir den gegensätzlichen Einfluß von Kalium und Kalzium (K Ca-Antagonismus).

Die steigenden K-Gaben in der Düngung haben, wie wir feststellten, zunächst die Korngröße und damit die Zahl der Aleuronzellen und bei weiterer Erhöhung der K-Gabe auch die Größe der Aleuronzellen günstig beeinflußt. Eine Beziehung zwischen Eiweißgehalt des Kornes und Größe der Aleuronzellen konnte nicht festgestellt werden. Wir haben diese Tatsache einmal auf die erhöhte Zellenzahl und zum anderen auf die starke Vergrößerung des Mehlkörpers zurückgeführt, der nach unserer heutigen Kenntnis einen wesentlichen Teil der Eiweißsubstanzen des Kornes enthält.

Beim Kalzium haben wir weder eine beachtenswerte Beeinflussung der Korngröße noch einen Einfluß auf die Größe der Zellen festgestellt. Dagegen fanden wir eine deutliche Beziehung zwischen Eiweißgehalt des Kornes und Größe der Aleuronzellen. Das wird verständlich, wenn wir daran denken, daß der Mehlkörper durch das Kalzium im Vergleich zum Kalium in weit schwächerem Maße beeinflußt wurde. Der Mehlkörper hat daher wahrscheinlich auch nur einen kleinen Teil der größeren Eiweißmenge der Körner der 2. und 3 Ca-Reihe aufgenommen, so daß der überwiegende Anteil von den Aleuronzellen gespeichert werden mußte. Da vermutlich die primäre Größe der Zellen durch das Ca nicht beeinflußt worden ist, hatte die zusätzliche Speicherung eine Dehnung der Aleuronzellen zur Folge.

Es kann hier noch erwähnt werden, daß der K Ca-Antagonismus auch in den Korn- und Strohertragen zum Ausdruck kam. Die hohen K-Gaben vermehrten bevorzugt den Strohertrag, während die hohen Ca-Gaben den Strohertrag stärker senkten als den Kornertrag. Das Verhältnis Stroh : Korn wird daher, wenn wir die extreme K-Mangelreihe nicht berücksichtigen, durch steigende K-Gaben ungünstig, durch steigende Ca-Gaben dagegen günstig beeinflußt. Diese Verhältnisse haben aber nur theoretisches Interesse, da die Verbesserung des Stroh : Kornverhältnisses durch hohe Ca-Gaben von einer absoluten Verringerung der Erträge begleitet ist.

5. Magnesium-Reihen.

a) Ernteerträge.

Nach Ansicht von Gehring und Mitarbeitern (9) zeigen die Marmorierungserscheinungen nur einen schwachen Magnesiummangel an. Diese Annahme wird durch die Ertragszahlen in Tabelle 25 bestätigt. Trotz der beobachteten Mangelerscheinungen

Tabelle 25.
Ernteertrag der Magnesium-Reihen.

Düngung	Zahl der Ähren	Kornzahl		Ges.-Korn in g	Einzel-Korn in mg	Stroh	Stroh : Korn
		je Topf	je Ähre				
Mg^{I} 0,15 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 14,8 mg Mg	32 ± 1	694 ± 31,08	21,67 ± 0,59	16,94 ± 1,28	24,38 ± 1,18	45,69 ± 1,07	2,7
Mg^{II} 0,30 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 29,6 mg Mg	31 ± 1,47	676 ± 33,70	22,07 ± 0,81	18,00 ± 1,25	26,59 ± 0,69	43,17 ± 0,41	2,4
Mg^{III} 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 88,7 mg Mg*)	30 ± 0,9	694 ± 15,6	23,40 ± 0,76	20,50 ± 0,86	29,57 ± 0,54	47,04 ± 3,12	2,3
Mg^{IV} 1,5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 147,8 mg Mg	31 0,9	694 ± 16,19	22,16 0,77	21,27 0,86	30,64 0,58	47,37 ± 1,44	2,2

*) = Reihe N^{III}.

ist die Ausbildung von Korn und Stroh nur schwach beeinflußt worden. Bei Berucksichtigung des mittleren Fehlers weist die unterste Reihe praktisch die gleichen Erträge auf wie die zweite Mg-Reihe, bei der außerlich keine Mangelerscheinungen beobachtet worden sind. Die Steigerung der Mg-Gabe von der 2. zur 3. Reihe verbessert dann den Gesamt-Kornertrag und das Einzel-Korngewicht, wahrend bei weiterer Erhöhung der Mg-Dungung keine Ertragsteigerungen mehr eintreten. Die Tabelle zeigt, daß jeweils die beiden unteren und die beiden oberen Reihen die gleiche Wirkung gehabt haben. Im Gegensatz zu der gunstigen Wirkung auf den Kornertrag hat das Magnesium die Zahl der Ähren, die Gesamt-Kornzahl und die Kornzahl je Ähre nicht beeinflußt. Ebenso erfährt der Strohertrag kaum eine wesentliche Änderung mit steigender Dungung, so daß wir in den unteren Reihen das hochste, d. h. das ungünstigste Verhältnis Stroh : Korn vorfinden.

Die geschilderte geringe Beeinflussung der Ernteerträge beim Weizen steht im Gegensatz zu den großen Ertragsteigerungen, die Bercks (2) bei der Gerste festgestellt hat; er hat mit der gleichen Dungung, wie ich sie verwandte, von der ersten bis zur letzten Reihe deutlich abgestufte Steigerungen in den Erträgen erzielt. Die Gerste zeigte in seinen Versuchen ein im Verhältnis zum Weizen relativ großes Bedurfnis fur Magnesium. So hat der Weizen mit der kleinen Mg-Gabe im Vergleich zur Gerste mehr als die doppelte Menge an Korn und Stroh ausgebildet. Die weitere Steigerung der Mg-Dungung erhoht die Kornerträge bei der Gerste weiter sehr stark, während die Kornerträge des Weizens nur schwach beeinflußt werden.

b) Kohlehydratgehalt.

Nach Tabelle 26 kann von einem größeren Einfluß des Magnesiums auf den Stärkegehalt des Weizenkornes nicht gesprochen

Tabelle 26.
Stärke- und Zuckergehalt der Magnesium-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gew. in mg	Stärkegehalt			Zuckergehalt		Stärke/Zucker
		Einzel-Korn in mg	Ges-Korn in g	in %	Einzel-Korn in mg	in %	
Mg^{I} 0,15 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 14,8 mg Mg	24,38 ± 1,18	12,87 ± 0,79	8,94 ± 0,75	52,73 ± 0,78	0,52 ± 0,010	2,13 ± 0,067	24,7
Mg^{II} 0,3 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 29,6 mg Mg	26,59 ± 0,69	14,24 ± 0,57	9,65 ± 0,76	53,52 ± 0,79	0,55 ± 0,025	2,09 ± 0,063	25,8
Mg^{III} 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 88,7 mg Mg	29,57 ± 0,54	15,99 + 0,47	11,09 ± 0,59	54,37 ± 0,63	0,70 0,010	2,38 ± 0,028	22,7
Mg^{IV} 1,5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 147,8 mg Mg	30,64 ± 0,58	16,62 ± 0,23	11,45 + 0,45	54,27 0,50	0,68 0,025	2,20 0,041	24,6

werden. Die Erhöhung der absoluten Stärkemengen im Korn ist lediglich als eine Folge des besseren Gesundheitszustandes der Pflanzen anzusehen. Ein Vergleich der Steigerungen von Einzel-Korngewicht und Stärkegehalt beweist diese Ansicht. Es sind nämlich die Einzel-Korngewichte von der ersten bis zur letzten Mg-Reihe um 21%, die absoluten Stärkemengen im Korn um 23% gestiegen. Die geringe Erhöhung des Prozentgehaltes an Stärke kann als praktisch unbedeutend bezeichnet werden. Der bessere Gesundheitszustand der reichlich mit Magnesium versorgten Pflanzen fand seinen Ausdruck auch im höheren Chlorophyllgehalt der Blätter, wie an dem Übergang der Blattfarbe von hellgrün nach kräftig dunkelgrün bei steigender Mg-Gabe zu erkennen war.

Der Zuckergehalt wird in gleicher Weise wie der Stärkegehalt beeinflußt. Die absoluten Werte sind mit steigenden Mg-Gaben erhöht worden. Bei den Prozentwerten prägt sich die Wirkung des Magnesiums nicht ganz so eindeutig aus, doch sind auch hier die Werte in den oberen Düngungsreihen höher als in den unteren. Das Verhältnis Stärke : Zucker ist mit Ausnahme der dritten Reihe kaum verändert worden.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den entsprechenden in der Arbeit von Bercks (2) zeigt bemerkenswerte Unterschiede auf. So steigt beim Weizen der prozentuale Zuckergehalt bei der Erhöhung der Mg-Gabe an, während er bei der Gerste deutlich sinkt.

c) Stickstoffgehalt.

Der Stickstoffgehalt des Weizenkornes ist ebenfalls nicht in eindeutiger Weise beeinflußt worden. Der Gesamt-Stickstoffgehalt in Tabelle 27 nimmt in seinen absoluten Werten bis zur 3. Reihe zu und bleibt dann konstant. Die Prozentwerte des Gesamt-Stickstoffs sind wenig eindeutig. Schließen wir die unterste Reihe bei

Tabelle 27.
Stickstoffgehalt der Mg-Reihen.

Düngung	Einz.-Korn Gewicht in mg	Gesamt-Stickstoff Einz.-Korn mg N	Gesamt-Stickstoff %	Eiweiß-Stickstoff Einz.-Korn mg N	Eiweiß-Stickstoff % Ges.-N	Löslicher Stickstoff Einz.-Korn mg N	Löslicher Stickstoff % Ges.-N	Eiweiß-N / lös-lich. N	Stärke / Eiweiß-N
Mg^{I} 0,15 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 14,8 mg Mg	24,38 ± 1,18	0,637 ± 0,027	2,62	0,608 ± 0,025	95,33	0,0298 ± 0,0014	4,67	20,4	21
Mg^{II} 0,30 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 29,6 mg Mg	26,59 ± 0,69	0,728 ± 0,006	2,74	0,695 ± 0,005	95,40	0,0335 ± 0,0003	4,60	20,8	21
Mg^{III} 0,9 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 88,7 mg Mg	29,57 ± 0,54	0,777 ± 0,003	2,63	0,743 ± 0,002	95,55	0,0346 ± 0,0018	4,45	21,6	22
Mg^{IV} 1,5 g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ = 147,8 mg Mg	30,64 ± 0,58	0,777 ± 0,013	2,54	0,736 ± 0,011	94,70	0,0412 ± 0,0014	5,30	17,9	22

den Betrachtungen aus, so können wir sagen, daß mit steigender Mg-Gabe der prozentuale Stickstoffgehalt gesenkt wird.

Im Schrifttum ist eine solche Senkung des prozentualen Stickstoffgehaltes schon mehrfach mitgeteilt worden: in den Veröffentlichungen des Kalisyndikates S. 322—326 (50) wird berichtet, daß in Sandkulturen von Gerste, Hafer und Mais die Magnesium-Mangelpflanzen einen erhöhten N-Gehalt aufweisen. Propsting (1) fand ebenfalls, daß die Körner der Mg-Mangelpflanzen gegenüber den normal ernährten Pflanzen mehr Stickstoff enthalten.

Der absolute Eiweiß-N-Gehalt des Weizenkornes verhält sich gleich dem Gesamt-Stickstoff; auch er wird von der 3. zur 4. Reihe nicht weiter gesteigert. Abweichend verhält sich dagegen der lösliche Stickstoff, der von der ersten bis zur letzten Reihe ansteigt. Die Anteile des Eiweiß- und des löslichen Stickstoffs am Gesamt-Stickstoff bekunden einen zwar nur geringen, aber in seiner Tendenz beachtenswerten Anstieg des Eiweiß-N und dementsprechend einen Abfall des löslichen Stickstoffs bis zur 3. Reihe. Die oberste Mg-Reihe bringt jedoch einen deutlichen Anstieg des löslichen Stickstoffs, so daß das Verhältnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff, das in den ersten drei Reihen leicht ansteigt, von der 3. zur 4. Reihe erheblich abfällt. Bercks (2) hat in seinen Versuchen im wesentlichen die gleichen Ergebnisse erzielt. Er findet, daß bei der Gerste und beim Hafer das Verhältnis Eiweiß-N : löslichem N in den unteren erheblich besser ist als in den beiden oberen Mg-Reihen. Der von mir beim Weizen in der 4. Reihe festgestellte Anstieg der löslichen N-Verbindungen wird bei der Gerste und beim Hafer schon durch geringere Mg-Gaben hervorgerufen.

In diesem Zusammenhang sei an die Steigerung des absoluten und des prozentualen Zuckergehaltes erinnert. Wir kommen dann zu der Feststellung, daß hohe Mg-Gaben in der Düngung eine allgemeine Erhöhung der löslichen Fraktionen zur Folge gehabt haben.

Tabelle 28.
Löslicher Stickstoff der Mg-Reihen.

Düngung	Doppelter Amid-N		Rest-N	
	Einzel-Korn. mg N	% des löslichen N	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N
Mg^{I}	0,0067 ± 0,0003	22,49	0,0231 ± 0,0014	77,51
Mg^{II}	0,0074 ± 0,0008	22,21	0,0260 ± 0,0010	77,79
Mg^{III}	0,0085 ± 0,0004	24,73	0,0260 ± 0,0014	75,27
Mg^{IV}	0,0072 ± 0,0004	17,27	0,0341 ± 0,0006	82,73

Tabelle 29.
Gesamterträge in den Mg-Reihen.

Düngung	Kornertrag	Stärkegehalt		Zuckergehalt		Eiweiß-Stickstoff	
	in g	in g	in %	in g	in %	in g	in %
Mg^{I}	16,94	8,94		0,358		0,422	
14,8 mg Mg	1,28	0,75	52,73	0,021	2,13	± 0,027	2,49
Mg^{II}	18,00	9,65		0,377		0,469	
29,6 mg Mg	± 1,25	0,76	53,52	± 0,036	2,09	± 0,027	2,61
M^{III}	20,50	11,09		0,487		0,514	
88,7 mg Mg	± 0,86	0,59	54,37	0,017	2,38	0,011	2,51
Mg^{IV}	21,27	11,45		0,469		0,511	
147,8 mg Mg	± 0,86	± 0,45	54,27	0,023	2,20	0,020	2,40

Die Zusammenstellung der Analysenergebnisse der löslichen Stickstoff-Fraktionen in Tabelle 28 zeigt ebenfalls die Sonderstellung der 4. Reihe in der Beeinflussung des Stickstoffgehaltes durch die Mg-Düngung. Der Amid-Stickstoff nimmt in seinen absoluten Werten bis zur 3. Reihe zu und fällt dann wieder ab. Der Rest-Stickstoff dagegen steigt bis zur 4. Reihe ununterbrochen an, so daß in der letzten Reihe die α-Aminosäuren relativ angereichert sind. Wie diese Erscheinungen zu erklären sind, dürfte schwer zu sagen sein.

Die Gesamterträge der Mg-Reihen in Tabelle 29 bestätigen die günstige Wirkung steigender Mg-Gaben. Sie zeigen aber auch gleichzeitig, daß schon relativ kleine Mg-Mengen ausreichen, um den notwendigsten Bedarf der Pflanze zu decken. Die Steigerung der Düngung bis auf die zehnfache Mg-Menge hat die Korn- und Stärkeerträge zwar stetig, aber im Vergleich zu den aufgewandten Mg-Mengen nur schwach erhöht. Der Zuckergehalt steigt nur bis zur 3. Reihe an und bleibt dann konstant. Ebenso verhält sich der Eiweißgehalt.

d) Aschegehalt.

Der Aschegehalt der Körner ist, wie Tabelle 30 zeigt, mit steigender Mg-Gabe absolut und prozentual erhöht worden. Die klare Erhöhung ist deswegen zu beachten, weil die Beobachtungen anderer Versuchsansteller einen Abfall des Aschegehaltes ergeben haben. Die Untersuchungen des Kalisyndikates (50) z. B. haben

Tabelle 30.
Aschegehalt der Mg-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gewicht in mg	Aschegehalt Einzel-Korn in mg	Aschegehalt Einzel-Korn in %
Mg^{I}	24,38 ± 1,18	0,487 ± 0,013	2,00
Mg^{II}	26,59 ± 0,69	0,557 ± 0,013	2,10
Mg^{III}	29,57 ± 0,54	0,668 ± 0,028	2,26
Mg^{IV}	30,64 ± 0,58	0,707 ± 0,027	2,31

gezeigt, daß der Aschegehalt im Korn und im Stroh des Hafers und im Stroh der Gerste mit steigender Mg-Gabe sinkt. Für das Gerstenkorn wurde allerdings bis zu den mittleren Gaben ein Anstieg der Prozentwerte gefunden.

c) Formative Einflüsse des Magnesiums.

Ähnlich wie beim Kalzium ist auch die formative Wirkung des Mg nur gering. Die Variationskurven des Korngewichtes in Abbildung 4 nehmen auch hier fast übereinstimmenden Verlauf, ohne

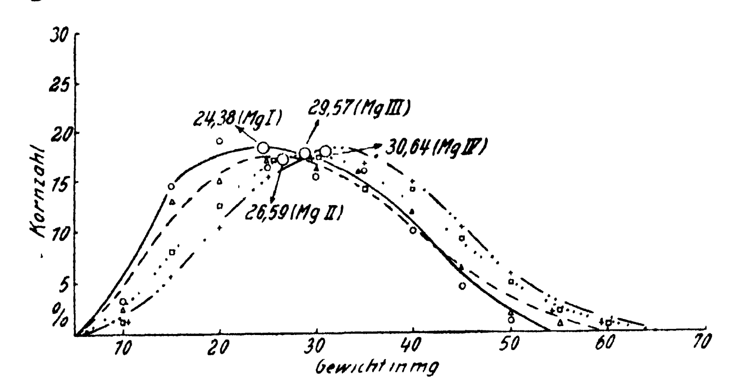


Abb. 4. Variationskurven des Korngewichtes der Mg-Reihen.
——— = Mg^{I}, – – – – Mg^{II}, ... Mg^{III}, — · · — Mg^{IV},
o = mittlere Einzel-Korngewichte.

daß allerdings der bei der chemischen Untersuchung festgestellte Unterschied zwischen den beiden oberen und den beiden unteren Reihen ganz verwischt würde. Die Kurven der jeweils zusammengehörigen Reihen verlaufen untereinander gleichartig, erscheinen aber gegenüber dem anderen Kurvenpaar deutlich abgesetzt.

Tabelle 31.
Verteilung der Korngrößen in den Mg-Reihen.

Reihe	Kleine Körner bis 20 mg %	Mittlere Körner 21—40 mg %	Große Körner über 40 mg %
Mg^{I}	36,5	58,0	5,5
Mg^{II}	31,0	61,5	7,5
Mg^{III}	21,5	62,0	16,5
Mg^{VI}	17,0	65,0	18,0

Tabelle 32.
Größe der Aleuronzellen in den Mg-Reihen.

Mg^{I}	Mg^{II}	Mg^{III}	Mg^{IV}
118	120	119	118

Die Werte bedeuten μ^2.

Tabelle 31 zeigt diese paarweise Übereinstimmung der Reihen ebenfalls sehr gut. Während der Anteil der mittleren Gewichtsgruppen in allen Reihen ziemlich unverändert bleibt, sind in den oberen Reihen die großen Körner auf Kosten der kleineren vermehrt worden.

Noch klarer wird der geringe Einfluß des Mg in formativer Hinsicht, wenn wir die Größen der Aleuronzellen vergleichen (Tab. 32). Die Zellen sind in allen Mg-Reihen nicht nur gleich, sondern im Gegensatz zu den Zellen der Ca-Reihen auch ausnehmend groß angelegt worden; die Große entspricht der bei optimalen K- und N-Gaben erreichten. Die bei steigender Mg-Gabe zu beobachtende vermehrte Eiweißeinlagerung hat sich somit in der Zellgröße nicht bemerkbar gemacht. Vielleicht kam die Eiweißeinlagerung hier allein dem Mehlkorper zugute, der ja eine deutliche Vergrößerung erfuhr.

6. Bor-Reihen.

a) Ernteerträge.

Die stetig zunehmende Kenntnis von der Bedeutung kleiner und kleinster Mengen gewisser Elemente, die nicht zu den Kern-Nahrstoffen gehoren, ließ es zweckmäßig erscheinen, die vorliegenden Untersuchungen auch auf dieses Arbeitsgebiet der Ernahrungsphysiologie auszudehnen. Infolge der sicheren Kenntnis von der Notwendigkeit des Mangans für die Getreidepflanzen konnte dieses Element der Grunddüngung in genugender Menge beigegeben werden. Die Wichtigkeit des Bors fur die Weizenpflanze aufzuklären sollte die Aufgabe dieser Versuchsreihe sein.

Eine Durchsicht des vorhandenen Schrifttums laßt erkennen, daß die Frage nach der Bedeutung des Bors fur die Getreidepflanzen sehr unterschiedlich beantwortet wird. Allerdings ist die Ansicht von der allgemeinen Giftigkeit des Bors uberholt, seitdem man gelernt hat, mit kleinen Mengen dieses Elementes zu arbeiten. Es handelt sich heute um die Klarung der Frage, ob kleine Bormengen für die Pflanzen notwendig oder gunstig sind und in welcher Weise das Bor in die Stoffwechselprozesse eingreift

Agulhon (51) fand, daß 0,5–10 mg Borsaure je Liter eine Steigerung des Wachstums von Weizen in Wasserkultur hervorrufen. Brenchley (52) berichtet, daß Konzentrationen unter 0,01 mg je Liter schadlich auf das Wachstum der Gerste einwirken, desgleichen Konzentrationen uber 1 mg je Liter. Die dazwischenliegenden Gaben forderten dem Augenschein nach das Wachstum, ohne daß sich diese gunstige Wirkung aber beim Trockengewicht bemerkbar gemacht hatte. Warington (53), Brenchley und Warington (54) stellten ebenfalls fest, daß die Gerstenpflanzen auch in borfreier Nahrlosung eine normale Entwicklung finden. Morris (55) gibt an, daß durch kleine Borgaben in der Nahrlosung das Wachstum des Weizens gefördert wird, während Scharrer und Schropp (56) in Sandkulturen keinen Einfluß des Bors auf das Jugendwachstum von Hafer

und Gerste gefunden haben. Schkoljnik (57) schließlich fand einen schwachen Einfluß des Bors auf das Wachstum des Weizens, der sich in einer Erhöhung des Trockengewichtes auspragte.

Diese kurze Zusammenstellung zeigt, wie wenig einheitlich die Wirkung des Bors auf das Wachstum der Getreidepflanzen beurteilt wird. Doch sind m. E. diese Unterschiede in den Versuchsergebnissen lediglich die Folge der verschiedenartigen und zum Teil auch unzulänglichen Methodik. Es ist selbstverständlich, daß bei dem geringen Bedarf des Weizens an Bor kurzfristige Versuche, wie sie z. B. Scharrer und Schropp (56) ausführten, andere Ergebnisse liefern müssen als langfristige Untersuchungen. Die im Korn vorhandenen Bormengen, die nach Goldschmidt und Peters (58) in der Asche der Weizenkörner 0,01% B_2O_3 betragen, genügen wahrscheinlich vollauf, um das Jugendwachstum der Pflanzen zu ermöglichen. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß die eindeutigsten Ergebnisse uber die günstige Wirkung des Bors von Tokuoka und Mitarbeitern (59) erzielt wurden, die Reis in Gefaßkulturen bis zur Ernte gezogen haben. Diese Forscher berichten, daß eine B-Gabe von 6,4 mg je kg Boden einen Mehrertrag an Korn von 22,5% einbrachte.

Die günstigen Ergebnisse von Tokuoka und Mitarbeitern (59) werden durch die Ertragsteigerungen in meinen Versuchen völlig bestatigt. Der Kornertrag in Tabelle 33 erfährt durch die beiden

Tabelle 33.

Ernteertrag der Bor-Reihen.

Düngung	Zahl der Ähren	Kornzahl je Topf	Kornzahl je Ähre	Ges.-Korn in g	Einz.-Korn in mg	Stroh	Stroh : Korn
Bo kein Bor*)	30 ± 0,9	694 ± 15,6	23,40 ± 0,76	20,50 ± 0,86	29,57 ± 0,54	47,04 ± 3,12	2,3
B^{I} 0,01 mg B	32 ± 2,2	797 ± 27,04	24,77 ± 1,12	25,83 ± 0,84	32,46 ± 0,96	55,90 ± 1,44	2,2
B^{II} 0,1 mg B	30 ± 1	685 ± 5,49	22,87 ± 0,81	24,38 ± 0,61	35,40 ± 0,46	53,72 ± 1,58	2,2
B^{III} 1 mg B	32 ± 0,9	641 ± 11,83	20,30 ± 0,95	20,05 ± 0,36	31,26 ± 0,23	48,85 ± 0,85	2,4
B^{IV} 5 mg B	28 ± 1,47	672 ± 8,17	23,88 ± 1,46	22,02 ± 0,13	32,77 ± 0,55	49,58 ± 1,58	2,3
B^{V} 20 mg B	29 ± 0,7	561 ± 28,86	19,62 ± 1,42	18,90 ± 1,69	33,65 ± 1,87	46,93 ± 2,68	2,5

*) = Reihe N^{III}.

unteren B-Gaben eine bedeutende Erhöhung. Die Gabe von 0,01 mg B je Topf steigert den Gesamt-Kornertrag um 26%, die zweite Gabe von 0,1 mg um 19%. Die Einzel-Korngewichte zeigen die günstige Wirkung kleiner B-Gaben in gleicher Weise. Der Vergleich der Einzel-Korngewichte und der Kornzahlen mit den Gesamtkornerträgen läßt erkennen, daß die beiden unteren B-Gaben auf verschiedenen Wegen annähernd die gleichen Erträge an Korn bewirkt haben. Der Abfall der Kornzahl von der 2. zur 3. Reihe

wird im Kornertrag durch die Erhöhung des Einzel-Korngewichtes in der 3. Reihe ausgeglichen. Die Verhältnisse in den mittleren Reihen sind unklar und lassen keine Deutung zu. Durch die hohe B-Gabe der obersten Reihe ist der Gesamtkornertrag gesenkt worden, doch ist diese Senkung viel geringer, als nach dem ungünstigen Entwicklungsstand der Pflanzen in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode vermutet werden konnte. Die Pflanzen erholten sich aber in der zweiten Hälfte der Wachstumsperiode in überraschender Weise, ohne jedoch im Längenwachstum den Vorsprung der übrigen Pflanzen aufzuholen (die Höhe der Pflanzen betrug: $B^0 = 125$ cm, $B^I = 127$ cm, $B^{II} = 132$ cm, $B^{III} = 127$ cm, $B^{IV} = 127$ cm, $B^V = 107$ cm). Die Halmgewichte des lufttrockenen Strohes zeigen aber, daß die Halme normal ausgebildet worden sind (Halmgewichte: $B^0 = 1{,}57$ g, $B^I = 1{,}77$ g, $B^{II} = 1{,}79$ g, $B^{III} = 1{,}52$ g, $B^{IV} = 1{,}77$ g, $B^V = 1{,}60$ g).

Die beobachtete Überwindung des anfänglichen Depressionszustandes durch die Pflanzen erklärt sich nach meiner Ansicht wie folgt: Wir wissen aus zahlreichen Arbeiten, daß die Pflanze bestrebt ist, übermäßig aufgenommene Bormengen dadurch unschädlich zu machen, daß sie sie in den vergilbenden Randpartien älterer Blätter ablagert [W a r i n g t o n (53), J o h n s t o n und F i s c h e r (60) u. a.]. E a t o n und B l a i r (61) fanden z. B., daß die Blattränder 30 mal soviel Bor enthalten wie die Blattadern und Blattstiele. Da aber das in der Pflanze abgelagerte Bor nicht erneut durch Auswanderung in den Stoffwechsel der Pflanze eingreift, und da außerdem beobachtet werden kann, daß die Pflanze die borgeschädigten Blätter abwirft, wird die Borkonzentration in der Nährlösung in zunehmendem Maße schwächer. Unter der Voraussetzung, daß die Borgabe in der Düngung nicht übermäßig hoch war, verschwindet so im Laufe der Vegetationszeit die Ursache der anfänglichen Wachstumshemmung, so daß die Pflanze, zwar verspätet, aber dann ungehindert wachsen kann. Es ist einleuchtend, daß dieses verspätete Wachstum in weit stärkerem Maße dem Stroh als dem Korn zugute kommt, da selbst die von V o e l k e r (62) und von mir festgestellte Hinauszögerung der Reife die vorzeitige Beendigung der Vegetationsperiode nicht verhindern kann.

Die Stroherträge der B-Reihen folgen in ihren Schwankungen im wesentlichen den Gesamt-Kornerträgen, nur daß mit steigenden B-Gaben der Strohanteil etwas ansteigt. Daher zeigen die 2. und die 3. Reihe das niedrigste und die 5. Reihe das höchste Verhältnis Stroh : Korn.

b) K o h l e h y d r a t g e h a l t.

Der günstige Einfluß kleiner Borgaben auf den Kornertrag wirkt sich auch auf die chemische Zusammensetzung des Korns vorteilhaft aus. Der absolute Stärkegehalt des Korns ist in sämtlichen B-Reihen erheblich höher als in der Vergleichsreihe ohne Bor. Die Steigerungen innerhalb der Reihen folgen, mit Ausnahme der obersten Reihe, gleichsinnig den Erhöhungen des Einzel-Korn-

Tabelle 34.
Stärke- und Zuckergehalt der Bor-Reihen.

Düngung	Einz.-Korn Gew. in mg	Stärkegehalt			Zuckergehalt		Stärke / Zucker
		Einz.-Korn in mg	Ges.-Korn in g	°/₀	Einz.-Korn in mg	°/₀	
Bo kein Bor	29,57 ± 0,54	15,99 ± 0,47	11,09 ± 0,59	54,37 ± 0,63	0,70 ± 0,010	2,38 ± 0,028	22,8
BI 0,01 mg B	32,46 ± 0,96	18,17 ± 0,61	14,66 ± 0,36	55,92 ± 0,30	0,70 ± 0,010	2,15 ± 0,047	25,9
BII 0,1 mg B	35,40 ± 0,46	20,13 ± 0,41	13,87 ± 0,42	56,85 ± 0,54	0,81 ± 0,025	2,27 ± 0,046	25,0
BIII 1 mg B	31,26 ± 0,23	17,26 0,28	11,07 ± 0,22	55,21 ± 0,48	0,72 ± 0,005	2,30 ± 0,034	23,9
BIV 5 mg B	32,77 ± 0,55	18,26 0.43	12,27 0,20	55,71 ± 0,60	0,75 ± 0,019	2,30 ± 0,020	24,2
BV 20 mg B	33,65 ± 1,87	18,02 ± 1,12	10,14 ± 1,10	53,49 ± 0,97	0,79 ± 0,050	2,37 ± 0,086	22,9

gewichtes. Zum Abfall des absoluten Stärkegehaltes in der 6. Reihe ist noch zu bemerken, daß die Senkung bedeutend klarer zum Ausdruck kommt, wenn wir den abweichenden Topf nicht berücksichtigen. Aber auch der Mittelwert der beiden übereinstimmenden Töpfe liegt noch über dem der Reihe ohne Bor. Der gleichzeitige deutliche Anstieg der Prozentwerte beweist, daß die Erhöhung des Einzel-Korngewichtes vorwiegend dem Stärkegehalt des Kornes zugute kommt. Auch bei den prozentualen Werten liegen, wieder mit Ausnahme der obersten Reihe, samtliche Werte höher als der Prozentgehalt der 1. Reihe.

Die Angaben im Schrifttum über den Einfluß des Bors auf den Stärkegehalt sind außerordentlich spärlich. Untersuchungen über den Stärkegehalt der Getreidekörner bei B-Düngung sind, soviel ich weiß, noch nicht ausgeführt worden. Scharrer und Schropp (63) berichten, daß mit steigenden B-Gaben der Stärkegehalt der Kartoffeln in ihren Versuchen erheblich ansteigt.

Der Zuckergehalt des Kornes erfährt in den absoluten Werten nicht eine solch durchsichtige Beeinflussung wie der Stärkegehalt. Übersichtlicher sind die Prozentwerte, die erkennen lassen, daß die kleinen B-Gaben den Zuckergehalt gesenkt haben. Mit steigender Gabe wird diese Senkung wieder ausgeglichen, so daß in der obersten Reihe der Zuckergehalt dem der Vergleichsreihe entspricht. Infolge der Zurückdrängung der löslichen Kohlehydrate zugunsten der unlöslichen in den unteren und mittleren B-Reihen gestalten sich die Werte des Verhältnisses Stärke : Zucker sehr vorteilhaft. Am besten ist dieses Verhältnis naturgemäß in den Reihen mit den kleinsten B-Gaben. Es werden hier Werte erreicht, die in sämtlichen anderen Düngungsreihen keine Parallele finden. Die außerhalb der B-Reihen in dieser Hinsicht beste Reihe, die 2. N-Reihe, besitzt nur ein Verhältnis Stärke : Zucker von 23,2 : 1. Die Überdüngung mit Bor läßt das Verhältnis wieder absinken.

Die Ergebnisse anderer Forscher über die Beziehungen zwischen Bordüngung und Zuckergehalt sind auf die hier vorliegenden Verhaltnisse nicht zu übertragen. Die von Bobko und Mitarbeitern (64) festgestellten Erhöhungen des Zuckergehaltes bei der Gurke und von Scharrer und Schropp (63) bei der Zuckerrübe unterliegen einer anderen Bewertung. Sie zeigen nur allgemein die günstigen Wirkungen des Bors; für die hier durchgeführte Besprechung der Verschiebungen innerhalb des Kohlehydratgehaltes sind sie aber ohne Bedeutung.

c) Stickstoffgehalt.

Im Gegensatz zum Stärke- ist der Stickstoffgehalt durch das Bor recht unübersichtlich beeinflußt worden (Tab. 35). Die ab-

Tabelle 35.
Stickstoffgehalt der B-Reihen.

Düngung	Einzelkorn Gew. in mg	Gesamt-Stickstoff Einzel-Korn in mg	Gesamt-Stickstoff %	Eiweiß-Stickstoff Einzel-Korn in mg	Eiweiß-Stickstoff % Ges.-N	Löslicher Stickstoff Einzel-Korn in mg	Löslicher Stickstoff % Ges.-N	Eiweiß-N : lös-lich. N	Stärke : Eiweiß-N
B0 kein Bor	29,57 ± 0,54	0,777 ± 0,003	2,63	0,743 ± 0,002	95,55	0,0346 ± 0,0018	4,45	21,6	22
BI 0,01 mg B	32,46 ± 0,96	0,758 ± 0,021	2,34	0,720 ± 0,020	94,91	0,0386 ± 0,0008	5,09	18,7	25
BII 0,1 mg B	35,40 ± 0,46	0,837 ± 0,013	2,37	0,798 ± 0,014	95,31	0,0393 ± 0,0007	4,69	20,3	25
BIII 1 mg B	31,26 ± 0,23	0,784 ± 0,024	2,51	0,742 ± 0,024	94,65	0,0419 ± 0,0001	5,35	17,7	23
BIV 5 mg B	32,77 ± 0,55	0,845 ± 0,015	2,58	0,803 ± 0,015	95,06	0,0417 ± 0,0003	4,94	19,2	23
BV 20 mg B	33,65 ± 1,87	0,954 ± 0,045	2,85	0,906 ± 0,043	94,92	0,0483 ± 0,0025	5,08	18,8	20

soluten Werte für den Gesamt- und den Eiweiß-Stickstoff sind in den ersten Reihen unklar, nur in den beiden obersten Reihen kann eine deutliche Erhöhung festgestellt werden. Die Prozentwerte sind infolge der verstärkten Einlagerung von Stärke in der 2. und 3. Reihe gesenkt, während sie in den oberen Reihen unverändert bleiben bzw. durch die Überdüngung erhöht werden. Der absolute Gehalt an löslichem Stickstoff steigt gleichmäßig von der ersten bis zur letzten Reihe an. Die auf Gesamt-Stickstoff bezogenen Werte des löslichen und damit auch die des Eiweiß-Stickstoffs sind dagegen wieder unübersichtlich. Es kann nur festgestellt werden, daß in sämtlichen Reihen mit Bor der Anteil des löslichen größer und der des Eiweiß-Stickstoffs geringer ist als in der Vergleichsreihe ohne Bor. Diese Unklarheit zeigt sich naturgemäß auch im Verhältnis Eiweiß-N : löslichem Stickstoff, von dem nur festgestellt werden kann, daß es durch alle Borgaben ungünstig beeinflußt worden ist.

Der gleichmäßige Anstieg der absoluten Mengen an löslichen N-Verbindungen mit steigenden B-Gaben ist auch aus der Tabelle 36 ersichtlich. Mit Ausnahme des Amid-Gehaltes in der

Tabelle 36.

Löslicher Stickstoff der B-Reihen.

Düngung	Doppelter Amid-N		Rest-N	
	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N	Einzel-Korn mg N	% des löslichen N
Bo	0,0085 ± 0,0004	24,73	0,0260 ± 0,0014	75,27
B^{I}	0,0074 ± 0,0006	19,18	0,0312 ± 0,0002	80,82
B^{II}	0,0079 ± 0,0006	20,15	0,0314 ± 0,0005	79,85
B^{III}	0,0077 ± 0,0007	18,46	0,0341 ± 0,0003	81,54
B^{IV}	0,0081 ± 0,0003	19,43	0,0336 ± 0,0003	80,57
B^{V}	0,0109 ± 0,0007	22,51	0,0374 ± 0,0017	77,49

Reihe ohne Bor steigen alle absoluten Werte des Amid- und des Reststickstoffs von der untersten bis zur obersten Reihe ziemlich gleichmäßig an. Interessant ist, daß in der Reihe ohne Bor und in der durch Bor-Überdüngung geschädigten Reihe der Amid-Stickstoff absolut und relativ angereichert ist. Da diese Reihen aber, wie wir gesehen haben, auch den höchsten Prozentgehalt an Gesamt-Stickstoff aufweisen, sind wir auf zwei verschiedenen Wegen zu dem Ergebnis gekommen, daß die Körner dieser Reihen relativ reichlich mit Stickstoff versorgt worden sind.

Über den nach neueren Arbeiten vorhandenen Einfluß des Bors auf die Nährstoffaufnahme geben die Verhältnisse in den Körnern keine sichere Auskunft. Doch findet man einige Hinweise, die den von Rehm (65) berichteten günstigen Einfluß des Bors auf die Aufnahme von Ammoniumnitrat auch in diesen Versuchen vermuten lassen. Ich denke dabei an die stetige Zunahme der absoluten Mengen an löslichem Stickstoff mit steigender B-Gabe, ferner an den hohen Gesamt-N-Gehalt der beiden oberen und an den hohen Amid-Stickstoffgehalt der obersten Reihe. Diese möglicherweise vorhandene Wirkung des Bors auf die Stickstoffaufnahme tritt aber in meinen Versuchen in den beiden unteren B-Reihen hinter dem eindeutigen günstigen Einfluß des Bors auf die Stärkesynthese zurück, was besonders auch in den Gesamterträgen in Tabelle 37 zum Ausdruck kommt.

d) Aschegehalt.

Tabelle 38 zeigt, daß die unteren und mittleren B-Gaben den prozentualen Aschegehalt der Körner gegenüber der Kontrollreihe ohne Bor deutlich gesenkt haben. Erst die schädliche B-Gabe bewirkt wieder einen annähernd gleich hohen Prozentgehalt an Mineralstoffen. Dieses Versuchsergebnis wird bestätigt durch Bobko und Mitarbeiter (66), die ebenfalls den Aschegehalt durch optimale B-Gaben gesenkt und durch schädliche Gaben wieder erhöht fanden. Wir können daher der Feststellung dieser Forscher, daß bei Anwesenheit von Bor die Mineralstoffe besser ausgenutzt werden, zustimmen. Dagegen können auf der Grundlage unserer Versuchsergebnisse weitergehende Überlegungen über den Einfluß des Bors auf die Aufnahme der Aschenbestandteile nicht angestellt werden.

Tabelle 37.
Gesamterträge in den B-Reihen.

Düngung	Kornertrag	Stärkegehalt		Zuckergehalt		Eiweiß-Stickstoff	
	in g	in g	in %	in g	in %	in g	in %
Bo kein Bor	20,50 ± 0,86	11,09 ± 0,59	54,37	0,487 ± 0,017	2,38	0,514 0,011	2,51
BI 0,01 mg B	25,83 ± 0,84	14,66 ± 0,36	55,92	0,556 0,014	2,15	0,573 0,020	2,22
BII 0,1 mg B	24,38 ± 0,61	13,87 ± 0,42	56,85	0,555 ± 0,022	2,27	0,550 ± 0,017	2,26
BIII 1 mg B	20,05 ± 0,36	11,07 ± 0,22	55,21	0,461 0,006	2,30	0,475 0,007	2,37
BIV 5 mg B	22,02 ± 0,13	12,27 ± 0,20	55,71	0,506 0,006	2,30	0,540 0,009	2,45
BV 20 mg B	18,90 ± 1,69	10,14 ± 1,10	53,49	0,446 0,033	2,37	0,506 0,022	2,68

Tabelle 38.
Aschegehalt dei B-Reihen.

Düngung	Einzel-Korn Gewicht in mg		Aschegehalt Einzel-Korn in mg		Aschegehalt Einzel-Korn in %
Bo	29,57	0,54	0,668	0,028	2,26
BI	32,46	0,96	0,674	0,007	2,08
BII	35,40	0,46	0,741	0,011	2,09
BIII	31,26	0,23	0,640	0,006	2,05
BIV	32,77	0,55	0,660	0,021	2,01
BV	33,65	1,87	0,735	0,030	2,19

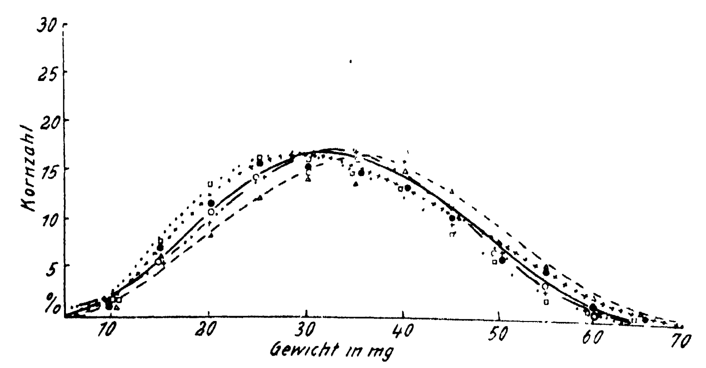


Abb. 5. Variationskurven des Korngewichtes der B-Reihen.
BI ———— 32,46, BII — — — — 35,40, BIII 31,26,
BIV — · · — 32,77, BV + + + + 33,65.
(Zahlen = mittlere Einzel-Korngewichte.)

e) Formativer Einfluß des Bors.

Der Einfluß des Bors auf die Korngröße ist, wie die Variationskurven (Abb. 5) der Korngewichte beweisen, sehr gering. Sämtliche Kurven fallen fast zusammen und erreichen ihr Maximum gleichmäßig im Bereich der mittleren Körner. Die Zusammenstellung der Prozentzahlen für kleine, mittlere und große Körner in Tabelle 39 zeigt ebenfalls, daß die überwiegende Masse aus Körnern

Tabelle 39.

Verteilung der Korngrößen in den B-Reihen.

Reihe	Kleine Körner bis 20 mg %	Mittlere Körner 21—40 mg %	Große Körner über 40 mg %
B^{O}	21,5	62,0	16,5
B^{I}	17,5	61,5	21,0
B^{II}	15,0	54,5	30,5
B^{III}	22,5	59,5	18,0
B^{IV}	16,5	63,5	20,0
B^{V}	19,5	57,5	23,0

von mittlerer Größe besteht und geringe Verschiebungen nur bei den kleinen und großen Körnern stattfinden. Lediglich in der 3. Reihe ist es zu einem beachtenswerten Anstieg des Prozentwertes für die großen Körner gekommen.

Die Größe der Aleuronzellen in Tabelle 40 scheint im Gegen-

Tabelle 40.

Größe der Aleuronzellen in den B-Reihen.

B^{O}	B^{I}	B^{II}	B^{III}	B^{IV}	B^{V}
119	126	124	119	132	134

Die Werte bedeuten μ^2.

satz zur Korngröße deutlich beeinflußt zu sein. Doch ist bei näherer Prüfung auch dieser Einfluß nur gering, da als unmittelbare Wirkung des Bors nur die Vergrößerung der Zellen von der Kontrollreihe zur 1. und 2. B-Reihe anzunehmen ist. Der starke Anstieg der Zellgrößen in den beiden oberen Reihen ist dagegen, wahrscheinlich ähnlich den Verhältnissen in den Ca-Reihen, nur die Folge der erhöhten Einlagerung von Eiweiß.

D. Zusammenfassende Besprechung der Ergebnisse.

In der Einleitung wurde der Zweck dieser Arbeit dahin formuliert, festzustellen, wieweit durch die Düngung die Beschaffenheit der Weizenkörner beeinflußt werden kann. Die zusammenfassende Besprechung der im Vorstehenden geschilderten Versuchsergebnisse wird nun zeigen, in welcher Weise diese Frage eine Beantwortung erfahren hat

N-Reihen.

Als auffallendste äußerlich erkennbare Wirkung der N-Düngung haben wir festgestellt, daß bei N-Mangel die Zahl der Körner stark vermindert wird. Die Körner sind aber besonders groß und erreichen bei weitem das höchste Einzel-Korngewicht. Bei N-Über-

schuß werden dagegen zahlreiche, aber kleinere Körner ausgebildet. Der beste Gesamtertrag wird durch die N-Gabe von 1,0 g erzielt, die den höchsten Kornertrag bei mittlerem Einzel-Korngewicht bewirkt.

Wir werden bei dem Versuch, diese Wirkung des Stickstoffs auf die Kornausbildung zu erklären, die Verhaltnisse in der grünen Pflanze berücksichtigen müssen. Zum Aufbau der Eiweißsubstanzen benötigt die Pflanze einmal lösliche N-Verbindungen und zum anderen Kohlehydrate. Die schlechte Versorgung der Pflanze mit den für die Synthese notwendigen N-haltigen Bausteinen, an denen es infolge der unzureichenden Ernährung mit Stickstoff mangelt, hat für die Ausgestaltung des äußeren Habitus der Pflanzen charakteristische Folgen. Wir sehen die sparsame Ausbildung von Halm und Blatt. Die Pflanzen bestocken sich nicht und bilden kleine, schmale Blätter. Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Versorgung mit Assimilaten. Trotz herabgesetzter photosynthetischer Leistung [Müller (11), Muller und Larsen (12), Gaßner und Goeze (13)] gestaltet sich die Versorgung der Pflanze mit Kohlehydraten nach dem fruhen Abschluß des Wachstums außerordentlich gunstig. Der Uberschuß an Assimilaten zieht einerseits die reichliche Verwendung für die Ausbildung der Wandsubstanzen nach sich, was äußerlich an dem stets beobachteten kräftigen und straffen Bau der Halme zu erkennen ist. Die Untersuchungen von Müller (11) haben andererseits ergeben, daß die überschüssigen Stärkemengen besonders in den Stengeln und in den Wurzeln der Stickstoffmangelpflanzen abgelagert werden. Diese Tatsache erklärt uns nun, warum in die wenigen ausgebildeten Körner besonders reichlich Kohlehydrate eingelagert werden. Wir dürfen nämlich mit Sicherheit annehmen, daß die gespeicherten Reservestoffe bei der Reife den Kornern zugefuhrt werden.

Die steigende Zufuhr von Stickstoffverbindungen bei erhohter N-Gabe in der Düngung kehrt diese Verhaltnisse langsam in das Gegenteil um. Steigende Stickstoffgaben begünstigen, wie wir gesehen haben, indirekt und direkt die Eiweißsynthese und damit den Aufbau von Plasmasubstanz. Es hängt nun allein von der Menge des zur Verfügung stehenden Stickstoffs ab, ob die Förderung des Wachstums sich auch auf den Kornertrag der Pflanzen auswirkt oder nicht. Ist die Stickstoffgabe nicht übermäßig groß, so wird das lebhafte Wachstum der Pflanzen lediglich eine vorteilhafte Vergrößerung der assimilierenden Fläche bewirken. Die anfallenden Assimilate brauchen nicht vollig zur Eiweißsynthese und zum Bau der Zellwände aufgebraucht zu werden. Es werden genügend Reservestoffe gespeichert, um die zahlreich angelegten Früchte versorgen zu können. Wir haben in Tabelle 5 gesehen, daß der Erhöhung des Gesamt-Kornertrages eine entsprechende Steigerung des Stärkeertrages parallel läuft. Es ist natürlich, daß die reichliche Düngung der Pflanzen mit Stickstoff den Prozentgehalt des Kornes an Eiweiß-Stickstoff erhöht.

Die oben beschriebene günstige Wirkung des Stickstoffs auf den Kornertrag bleibt bei einer Überdüngung aus. Es konnte schon während der Vegetationszeit beobachtet werden, daß die Pflanzen Halme und Blätter in überreichlicher Anzahl ausbildeten. Wir sehen dies ebenso am Strohgewicht, das in der N-Überschußreihe den höchsten Wert erreicht. Diese Verhältnisse können aus den oben entwickelten Vorstellungen heraus ebenfalls erklärt werden. Die reichlich gebildeten Assimilationsprodukte werden bei der starken Stickstoffzufuhr weitgehend zum Eiweißaufbau verbraucht, die Folge davon ist eine vermehrte Zellproduktion, d. h. ein weiterer Verbrauch an Assimilaten fur die Zellwandbildung. Diese umfangreiche Festlegung der Assimilationsprodukte geht naturgemäß auf Kosten der Speicherung von Reservestoffen vor sich, so daß als weitere Folge die zum Überfluß auch noch außerordentlich zahlreich angelegten Fruchte bei der Reife nur unvollständig mit Stärke gefullt werden konnen[1]).

Diese Vorstellungen uber die Wirkung des Stickstoffs können noch durch zahlreiche Einzelheiten belegt werden. Die Uberdungung in der obersten Stickstoffreihe kommt z. B. sehr schön in dem deutlichen Anstieg des Amid-Stickstoffs in Tabelle 4 zum Ausdruck. Prianischnikow (21) deutet die Anhäufung von Amiden in der Pflanze bekanntlich als Ammoniakentgiftung. Weiter sehen wir in Tabelle 3, daß das Verhältnis Stärke : Eiweiß-Stickstoff in den Körnern mit zunehmender Stickstoffgabe stetig ungünstiger wird. Tabelle 6 zeigt, daß der Anteil der Rohfaser im Korn in den Stickstoffreihen ansteigt. Die Pflanze hat also das Gehäuse der Körner fast normal ausgebildet, vermag aber nicht genugend Reservestoffe einzulagern.

K-Reihen.

Sahen wir bei den Stickstoffreihen als charakteristische äußerlich sichtbare Wirkung des N-Mangels den straffen Wuchs der Halme und die Ausbildung großer Korner, so finden wir beim Kalimangel die gegensatzliche Erscheinung, nämlich kleine Körner und schlaffen Wuchs der Halme. Das kennzeichnende Merkmal der Beeinflussung der inneren Kornbeschaffenheit durch die Kalidungung ist der starke Abfall des Stärkegehaltes in der Kali-Mangelreihe. Es fand nicht nur eine absolute Verringerung entsprechend dem geringeren Einzel-Korngewicht statt, sondern auch eine Senkung des Prozentgehaltes. Die Erfahrungen, die wir in den Stickstoffreihen gemacht haben, berechtigen uns nun zu der Frage, ob der niedere Stärkegehalt tatsachlich auf einer Hemmung der

[1]) Nach Abschluß dieser Arbeit erschien eine Veröffentlichung von Selke (67) uber neue Moglichkeiten verstarkter Stickstoffdungung zu Getreide, die die oben entwickelten Vorstellungen teilweise bestätigt. Selke geht von der Uberlegung aus, daß zusatzliche, nach Abschluß der Halmbildung gegebene N-Gaben in der Pflanze zu Reserveeiweißstoffen verarbeitet werden und den Körnern zugute kommen müssen. Diese Arbeitshypothese erwies sich als richtig, da durch eine späte N-Zufuhr der Eiweißgehalt der Körner tatsachlich erhoht wurde.

Kohlehydratsynthese beruht, oder ob in der Kali-Mangelreihe Verhältnisse vorliegen, die denen der N-Überschußreihe analog sind. Daß es sich aber tatsächlich um eine Senkung der CO_2-Assimilation handelt, zeigen uns die Beobachtungen anderer Forscher über den Einfluß des Kaliums auf die Photosynthese grüner Blätter. Gregory und Richards (43), Müller und Larsen (12), Alten und Mitarbeiter (45) haben festgestellt, daß die photosynthetische Leistung durch Kalimangel gehemmt wird. In welcher Weise wir uns das Eingreifen des Kaliums in den photosynthetischen Prozeß vorzustellen haben, ist allerdings unbekannt. Die Versorgung der Kalimangel-Pflanzen mit Assimilaten wird nicht nur durch die Senkung der Assimilationsintensität, sondern auch durch das schnelle Altern der Blätter verschlechtert. Wir können daher insgesamt feststellen, daß die photosynthetische Leistung dieser Pflanzen sehr gering ist und infolgedessen auch die Körner nur ungenügend mit Reservestoffen versorgt werden. Mit zunehmender Kaliumgabe in der Düngung gestalten sich diese Verhältnisse wesentlich günstiger, so daß wir in der oberen Kalireihe einen reichlichen Stärkegehalt in den Körnern feststellen können.

Wir müssen noch eine Eigentümlichkeit der Kalimangel-Reihe kurz besprechen. Bei den Ergebnissen ist schon mehrfach darauf hingewiesen worden, daß in den Körnern der Kalimangel-Pflanzen sowohl die löslichen N-Verbindungen als auch die löslichen Kohlehydrate angereichert sind. Die Verhältnisse der unlöslichen zu den löslichen Verbindungen (Tab. 10 und 11) sind in dieser Reihe stets deutlich verschlechtert worden. Diese Anreicherung der löslichen Verbindungen muß unverständlich sein, wenn wir im Sinne der Theorie von Paech (41) die Eiweißsynthese nur von einem Gleichgewichtszustand zwischen löslichem Stickstoff und löslichen Kohlehydraten abhängig machen; es sei denn, wir nehmen an, daß die löslichen Verbindungen in der Kalimangel-Reihe ihre Reaktionsbereitschaft eingebüßt haben. Diese Reaktionsträgheit kann möglicherweise auf die von Schmalfuß (39) vertretene Dehydratation der Plasmakolloide bei Kalimangel zurückgeführt werden.

Die Hemmung der Eiweißsynthese bei Kalimangel ist sehr deutlich aus der Tabelle 13 zu ersehen. Die in den Körnern abgelagerten Eiweißmengen sind sehr gering. Die Steigerung der Kaligabe von 0,25 g auf 0,5 g erhöht den Eiweiß-Stickstoffgehalt in der Kornernte eines Topfes weit über das Doppelte. Der hohe Prozentgehalt an Eiweiß-Stickstoff in der 1. Kalireihe, der der von uns vertretenen Ansicht einer Hemmung der Eiweißsynthese scheinbar widerspricht, erklärt sich aus der noch größeren Senkung des Stärkegehaltes. Das wird uns klar, wenn wir die absoluten Mengen an Stärke und Eiweiß-N in der 1. Reihe der Tabelle 13 gleich 100 setzen. Dann steigt in der 2. Reihe der Stärkegehalt auf 300, der Eiweißgehalt dagegen nur auf 214. Das Mißverhältnis zwischen Eiweiß und zur Verfügung stehenden Stickstoffmengen prägt sich weiter in der Zusammensetzung des löslichen Stickstoffs aus, der nahezu zu 50% aus Amid-Stickstoff besteht.

Mit steigender Kaligabe verschwindet die festgestellte ungünstige Zusammensetzung des Kornes. Der Stärkegehalt nimmt, wie schon erwähnt, prozentual und absolut bedeutend zu, der Zuckergehalt in seinen prozentualen Werten dagegen ab. Ebenso nimmt der Gesamt-N-Gehalt und der Eiweiß-Stickstoff absolut zu und prozentual ab. Innerhalb des Gesamt-Stickstoffs stellen wir eine Zunahme des Eiweiß-Stickstoffanteils und innerhalb des löslichen eine starke Abnahme des Prozentgehaltes an Amid-Stickstoff fest. Diese Umsetzungen werden begleitet von einer Abnahme des Prozentgehaltes an Rohfaser, Asche und von einer Vergrößerung der Aleuronzellen.

Ca-Reihen.

Bercks (2) berichtet in seiner Arbeit, daß der Einfluß des Kalziums auf die Kornbeschaffenheit unbedeutend ist. Diese Beobachtung kann durch die beim Weizen gefundenen Verhältnisse weitgehend bestätigt werden, wenn auch ein größeres Ca-Bedürfnis des Weizens unverkennbar ist. Die Ergebnisse der Ca-Reihen des Weizens lassen ebenfalls keine spezifische Mitwirkung des Kalziums beim Aufbau der untersuchten Stoffe erkennen. Wir stellen die Notwendigkeit der Anwesenheit dieses Elementes fest, ohne außer seiner verhältnismäßig geringen antagonistischen Wirkung zum Kalium Hinweise auf seine Bedeutung zu finden.

Mg-Reihen.

Noch weniger als beim Kalzium kann eine besondere Wirkung des Magnesiums auf die Stoffwechselprozesse festgestellt werden. Wir gehen daher in der Annahme wahrscheinlich nicht fehl, daß die Bedeutung des Magnesiums von den geringen zur Chlorophyllsynthese notwendigen Mengen abgesehen bei der Erhaltung des Ionengleichgewichtes zu suchen ist. Der Mangel dieses Elementes schädigt ebenso wie der Überschuß den Gesundheitszustand der Pflanzen vermutlich durch eine ungünstige Beeinflussung des Zustandes der Plasmakolloide.

B-Reihen.

Eine Ergänzung erfahren die bisherigen Versuchsergebnisse durch die Untersuchungen über den Einfluß des Bors. Während die Notwendigkeit dieses Elementes für eine große Zahl von Familien innerhalb der Dikotylen einwandfrei bewiesen ist, wird die Notwendigkeit des Bors für die Monokotylen, speziell für die Getreidepflanzen, angezweifelt. Die Versuchsansteller berichten übereinstimmend, daß die Getreidepflanzen auch ohne Bor gedeihen, wenn sie auch je nach den Ergebnissen ihrer Versuche eine wachstumsfördernde Wirkung kleiner Borgaben verschieden beurteilen (Literatur, s. S. 206). Eine eindeutig günstige Wirkung ist m. W. bisher nur von Tokuoka und Mitarbeitern (59) mitgeteilt worden, die mit kleinen Borgaben einen erheblichen Mehrertrag an Korn bei Reispflanzen erzielt haben. Die Ergebnisse dieser Forscher erfahren durch meine Versuche eine völlige Bestätigung. Es konnte festgestellt werden, daß durch die Borgaben von 0,01 und 0,1 mg pro Topf der Kornertrag der betreffenden

Versuchsreihen um 26 bzw. 19% erhöht worden ist. Die Steigerung des Kornertrages wird in den beiden Reihen auf verschiedene Weise herbeigeführt, und zwar in der 2. Reihe vorwiegend durch eine Vermehrung der Kornzahl, in der 3. Reihe dagegen nur durch einen Anstieg des Einzel-Korngewichtes.

Die chemische Anlyse hat ergeben, daß die in allen Reihen beobachtete Erhöhung des Einzel-Korngewichtes vorwiegend dem Stärkegehalt zugute gekommen ist, der absolut und mit Ausnahme der letzten Reihe auch prozentual in allen Reihen ansteigt. Die vermehrte Einlagerung von Stärke wird in den optimalen Reihen nicht von einer entsprechenden Steigerung des Stickstoffgehaltes begleitet, so daß die Prozentwerte des Stickstoffs absinken. Die gleichen Verhältnisse finden wir beim Aschegehalt. Auch hier ist der Prozentgehalt durch die günstigen Borgaben gesenkt worden. Wir können daher der Ansicht von Bobko und Mitarbeitern (66) beipflichten, nach der bei Anwesenheit von Bor der Stickstoff und die Mineralstoffe eine bessere Ausnutzung erfahren. Die Ergebnisse dieser Versuche haben gezeigt, daß die bessere Ausnutzung auf einer geförderten Synthese stickstofffreier Stoffe, in unserem Falle der Stärke, beruht. Fur die Beurteilung der Borwirkung auf die Nährstoffaufnahme bieten die Verhaltnisse in den Kornern keine sichere Grundlage, wenn auch die Vermutung ausgesprochen werden konnte, daß die Aufnahme von Stickstoff und Mineralstoffen durch das Bor gefördert worden ist.

E. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Es wurde der Einfluß gestaffelter Gaben von Stickstoff, Kalium, Kalzium, Magnesium und Bor auf den Ertrag und auf die Kornbeschaffenheit von in Sandkultur gezogenen Sommerweizenpflanzen untersucht

Die wichtigsten Ergebnisse sind folgende:

1. In der Stickstoffmangelreihe wurden wenige, aber große und stärkereiche Körner gebildet. Der prozentuale Eiweißgehalt der Körner ist gesenkt. Mit steigender Stickstoffdungung steigt die Kornzahl und der Gesamt-Kornertrag an. Das Einzel-Korngewicht fällt mit steigender Stickstoffgabe ab. Infolge des stark abfallenden Stärkegehaltes nimmt der prozentuale Gehalt an Stickstoff, Rohfaser und Asche zu. Das Verhältnis Eiweiß-N zu loslichem Stickstoff wird nicht wesentlich beeinflußt. In der N-Überschußreihe wird der Amid-Stickstoffgehalt relativ und absolut erhoht. Die Größe der Aleuronzellen fällt mit steigender Gabe ab.

2. Bei Kalimangel werden kleine, stärkearme, aber relativ stickstoff- und rohfaserreiche Körner gebildet. In dieser Reihe sind die löslichen Verbindungen allgemein angereichert. Mit steigender Kaligabe nehmen Kornzahl, Einzel-Korn- und Gesamt-Korngewicht sowie der Stärkegehalt zu. Rohfaser- und Aschegehalt fallen prozentual ab, absolut steigen sie dagegen an. Die Aleuronzellen werden durch steigende Kaligaben vergrößert.

3. Eine besondere Wirkung des Kalziums wird außer einer geringen antagonistischen Beziehung zum Kalium nicht festgestellt.

Kalziummangel und Kalziumüberschuß senken den Kornertrag und das Einzel-Korngewicht.

4. Mit steigenden Magnesiumgaben werden Gesamt-Korn- und Einzel-Korngewicht erhöht, die Zusammensetzung des Kornes wird kaum beeinflußt. Der Aschegehalt steigt absolut und prozentual an.

5. Die Borgaben von 0,01 und 0,1 mg erhöhen den Kornertrag um 26 bzw. 19%, und zwar beruht diese Steigerung im wesentlichen auf einer Förderung der Stärkeeinlagerung. Der Stickstoff- und der Aschegehalt nehmen daher prozentual ab.

Insgesamt betrachtet haben daher die Versuche gezeigt, daß durch mineralische Düngung die Beschaffenheit des Kornes beim Weizen in Vegetationsversuchen beeinflußt werden kann.

Schrifttum.

1. Propsting, W.. Über den Einfluß mineralischer Dungung auf Beschaffenheit und N-Haushalt des Gerstenkornes. Angew. Bot., Berlin, **18**, 1936, 408--450
2. Bercks, R.: Über den Einfluß mineralischer Dungung auf die chemische Zusammensetzung der Gersten- und Haferfrucht. Bodenkunde u. Pflanzenernährung, Berlin, **12**, 1939, 129-- 171.
3. Schribaux. Les facteurs de la valeur boulangère du blé. C. R. de l'Acad. d. sciences, Paris, **190**, 1930, 689--691
4. Pfaff, C.: Einfluß der Dungung auf die Weizengute. Chemiker-Z., Kothen i. A., **58**, 1934, 492.
5. Visser, R. H: Dungungsversuche mit Sommerweizen. Versl. Techn. Tarwe Commissie, **4**, 1935, 79.
Visser, R H.: Ref.. Z Pflanzenernahr., Dung u. Bodenkunde, Berlin, A **42**, 1936, 106.
6. Scharnagel: Einfluß der Dungung auf die Qualität des Weizens unter besonderer Berucksichtigung der Kalidungung. Ernähr. d Pflanze, Berlin, **30**, 1934, 130 131.
7. Jessen, W. Die Marmorierung der Blatter der Getreidearten eine Magnesiummangelerscheinung. Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **22**, 1931, 129--135
8. Itallie, van Th. B. Magnesiummangel und Ionenverhaltnisse in Getreidepflanzen. Bodenkunde und Pflanzenernahrung, Berlin, **5**, 1937, 303--333.
9 Gehring, A., U. Creuzburg, E. Pommer, H. von Stockhausen u. O. Wehrmann: Weitere Untersuchungen uber die Wirkung des Magnesiums auf den Ernteertrag des Bodens. Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **29**, 1933, 335--380.
10. Boekholt, K: Untersuchungen uber den Einfluß verschiedener Dungung auf die Struktur des Ertrages und den Bau der Blatter von Gerste und Weizen. Z. Pflanzenernahr., Dung. u Bodenkunde, Berlin, B **9**, 1930, 289 300.
11. Muller, D.: Analyse der verminderten Stoffproduktion bei Stickstoffmangel. Planta, Berlin, **16**, 1932, 1 9.
12. Muller, D., u. P. Larsen: Analyse der Stoffproduktion bei Stickstoff- und Kalimangel. Planta, Berlin, **23**, 1935, 501--517
13. Gaßner, G., u. G Goeze: Assimilationsverhalten, Chlorophyllgehalt und Transpirationsgroße von Getreideblattern mit besonderer Berucksichtigung der Kalium- und Stickstoffernahrung. Z. Bot., Jena, **27**, 1934, 257--340.
14. Burstrom, H.: Uber antagonistische Erscheinungen bei der Kationenaufnahme des Hafers. Svensk Botanisk Tidskrift, Upsala, **28**, 1934, 157--263.
15. Flieg, O.: Der Einfluß von N-Aufnahme und Lichtmangel auf den Zuckerspiegel im grunen Blatt und die Bedeutung dieser Beziehung für

Futterung und Silage. Wiss. Arch. Landwirtsch., Abt. A, Arch. Pflanzenbau, Berlin, **8**, 1932, 335--344.
16. Swanson, C. O.: Faktoren, welche die Proteinmenge in Weizen beeinflussen. Cereal Chemistry, **1**, 1924, 279; Ref.: Z Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, B **6**, 1927, 187.
17. Gaßner, G., u W. Franke: Der Stickstoffhaushalt junger Weizenpflanzen in seiner Abhangigkeit von der Mineralsalzernahrung. Phytopathol. Z., Berlin, **7**, 1934, 121- 222.
18. Knowles, F., u. J E. Watkin: The amounts and distribution of some phosphorus and nitrogen compounds in wheat during growth. J. agricult. Sci, **22**, 1932, 755 766; Ref.: Biedermanns Zbl. Agrik.-Chem., Abt. A, Berlin, **4**, 1934, 233.
19. Toulaikoff, N. M., u. N. F. Pisarevsky: Die Anhaufung von Mineralsalzen, Gesamtstickstoff und Starke wahrend der Reife der verschiedenen Weizensorten. Journ. opitn. agronom. jugost. Saratow., **3**, 17, 1927; Ref.: Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **12**, 1928, 253
20. Schwab, G.: Studien uber Verbreitung und Bildung der Saureamide in der höheren Pflanze. Planta, Berlin, **25**, 1936, 579 606
21. Prianischnikow, D.: Über den Aufbau und Abbau des Asparagins in den Pflanzen. Ber. dtsch. bot. Ges., Berlin, **40**, 1922, 242 - 248.
Prianischnikow, D.: Asparagin und Harnstoff. Biochem Z, Berlin, **150**, 1924, 407—423.
22. Engel, H.: Beiträge zur Kenntnis des Stickstoffumsatzes gruner Pflanzen. Planta, Berlin, **7**, 1929, 133--164.
23. Klein, G. · Handbuch fur Pflanzenanalysen. Wien 1932
Bergmann, M., u. L. Zervas: Eiweißstoffe. **4**, III. Teil, 299 362.
24. Duchon, Fr.: Beitrag zur Frage der „Kleberpest" (Leimkleber) des Weizens. Věstnik Čsl. Acad. Zeměd. Prag, **10**, 1934, 261 265, Ref.. Biedermanns Zbl. Agrik.-Chem., A, Leipzig, **5**, 1935, 448
25. Rahn, H.: Untersuchungen uber den N-Stoffwechsel der pflanzlichen vegetativen Speicherorgane. Planta, Berlin, **18**, 1933, 1 51
26. Bredemann, G., u. O. Nerling: Über den Einfluß der Ernahrung auf die Zusammensetzung der Starke in der Kartoffel nach Korngroßen. Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **16**, 1930, 331 341.
27. Buchanan, J. H., u. G. G. Naudin: zit. bei O Nerling Über die quantitative Bestimmung der Korngroße der Kartoffestarke usw Wiss. Arch. Landwirtsch., Abt. A, Arch. Pflanzenbau, Berlin, **3**, 1930, 268 320.
28. Hellriegel, H., H. Wilfarth, H. Roemer u. G Wimmer Vegetationsversuche uber den Kalibedarf einiger Pflanzen Arbeiten d Dtsch. Landw.-Ges., Berlin, 1898, 34.
29. Blair, A. W.: Potash on wheat and clover New Jersey Agriculture, **14**, 1932, 5; Ref.: Ernahrung d. Pflanze, Berlin, **30**, 1934, 243
30. Lundegårdh, H.: Die Nahrstoffaufnahme der Pflanze Verl G. Fischer, Jena 1932.
31. Nobbe, F., J. Schroeder u. R. Erdmann. Über die organische Leistung des Kaliums in der Pflanze Landw. Versuchsstat., Berlin, **13**, 1871, 321--423.
32. Märker: Untersuchungen uber den Wert des neuen 40%igen Kalidungesalzes gegenuber dem Kainit. Arb d. Dtsch. Landw. Ges, Berlin, 1901, 56.
33. James, W. O.: Studies of the physiological importance of the mineral elements in plants. Ann. Botany, London, **44**, 1930, 173 -198.
34. Jacob, A.: Der Einfluß der Kalidungung auf die chemische Zusammensetzung der Ernteprodukte. Z. Pflanzenernahr., Dung u. Bodenkunde, Berlin, A **37**, 1935, 1 -26.
35. Wimmer, G., u. H. Ludecke: Einfluß wechselnder K-Gaben auf Ertrag und Beschaffenheit verschiedener Gerstensorten unter besonderer Berucksichtigung der Ausnutzung des aufgenommenen Kalis. Landw. Versuchsstat., Berlin, **125**, 1936, 129 200.
36. Chokkana, J. N. G.: Über die Rolle des Kaliums bei der Zucker-

synthese der Pflanze Sorghum Saccharatum (Zuckerhirse). Z. Pflanzenernahr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **43**, 1936, 43—69.
37. Turtschin, Th. W.: Die Rolle des Kaliums und Phosphors bei der Assimilation verschiedener Stickstofformen durch Pflanzen. Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlın, A **44**, 1936, 65—83.
38. Mevius, W., u. I. Dikussar: Nitrite als Stickstoffquellen fur höhere Pflanzen. Jahrb. wiss. Bot., Leipzig, **73**, 1930, 633 - 703.
39. Schmalfuß, K.: Untersuchungen uber den Eiweißstoffwechsel fur Kalimangelpflanzen. Phytopathol. Z., Berlin, **5**, 1932, 207 --324.
Schmalfuß, K.: Das Kalium. Naturwiss. u. Landwirtsch., Freising/ Munchen, **19**.
40. Weinmann, H.: Uber die gegenseitige Beeinflussung von Stickstoff und Kali bei der Ernahrung der Sommergerste. Ernahrg. d. Pflanze, Berlin, **29**, 1933, 261--264.
41. Paech, K.: Uber die Regulation des Eiweißumsatzes und uber den Zustand der proteolytischen Fermente in den Pflanzen. Planta, Berlın, **24**, 1935, 78—129
42 Frank, A.: Die Beteiligung des Kaliums an der Stofferzeugung der hoheren Pflanze II Bodenkunde u Pflanzenernährung, Berlin, **1**, 1936, 133 168
43 Gregory, F. G, u. E J. Richards: Physiological studies in plant nutrition. I. Ann. Botany, London, **43**, 1929, 119 161.
44. Russel, J. E.. Die Wirkung von Dungemitteln auf den Ernteertrag. Wissensch. Arch. Landwirtsch, Abt A. Arch. Pflanzenbau, Berlin, **8**, 1932, 1--69.
45. Alten, F., G. Goeze u. H. Fischer: Kohlensaureassimilation und Stickstoffhaushalt bei gestaffelter Kaligabe. Bodenkunde u. Pflanzenernahrung, Berlin, **5**, 1937, 259 389.
46 Schneidewind, W: Die Ernahrung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Berlin 1928. 6 Aufl.
47. Nightingale, G. T, R M. Addoms, W. R Robbins u. L. G. Schermerhorn. Effects of Calcium deficiency on nitrate absorption and on metabolism in tomato Plant Physiol, Lancaster, **6**, 1931, 606—630.
48. Boehm, J.. Uber den vegetabilischen Nahrwert der Kalksalze. Sitzungsber. d. k.k. Akad. d Wiss. i. Wien, Mathem -Naturwiss. Klasse, **71**, 1875, 1. Abt, 287 304
49. Tiedjens, V. A., u. L. G. Schermerhorn Available calcium a factor in salt balance for vegetable crops. Soil Sci., Baltimore, **42**, 1936, 419—433.
50. Kalisyndikat Arbeiten über Kalidungung, 2 Reihe, herausgeg. v. d. Wissensch. Abtlg. d. Dtsch. Kalisyndikates, Berlin 1935.
51. Agulhon, H.: Emploi du bore comme engrais catalytique. C. R. d. séances de l'académie des sciences, Paris, **150**, 1910, 288 291.
52. Brenchley, W. E: On the action of certain compounds of zinc, arsenic and boron on the growth of plants Ann Botany, London, **28**, 1914, 283--301.
53. Warington, K.: The effects of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Ann. Botany, London, **37**, 1923, 629--672.
54. Brenchley, W. E.: u. K. Warington: The role of boron in the growth of plants. Ann. Botany, London, **41**, 1927, 167—187.
55. Morris, H. S.: Physiologische Wirkungen des Bors beim Weizen. Bull. Torrey Bot. Club, **58**, 1931; 1. Ref.: Z. Pflanzenernähr., Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **27**, 1933, 229.
56. Scharrer, K., u. W. Schropp: Sand- und Wasserkulturversuche uber die Wirkung des Bors auf Keimung und Jugendwachstum einiger Kulturpflanzen. Z. Pflanzenernähr, Dung. u. Bodenkunde, Berlin, A **28**, 1933, 313- 329.
57. Schkoljnik, M. Ja.: Uber das Borbedurfnis der Pflanzen. C. r. Acad. Sci. URSS., **2**, 1935, 167; Ref.: Biedermanns Zbl. f. Agrik.-Chem., Berlin, A **6**, 1936, 415.

58. Goldschmidt, V. M., u. Cl. Peters: Zur Geochemie des Bors II. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., Berlin, 1932, 532—545.
59. Tokuoka, M., u. H. Morooka: Die wachstumsfordernde Wirkung des Bors. J. Soc. Agr. Taiwan, 8, 1936, 220, Ref. Forschungsdienst, Berlin, 3, 1937, 283 (Schrifttumsnachweis).
60. Johnston, E. S., u. P. L. Fischer: The essential nature of boron to the growth and fruiting of the tomato. Plant Physiol Lancaster, 5, 1930, 387—392.
61. Eaton, F. M., u. G. J. Blair. Accumulation of boron by reciprocally grafted plants. Plant Physiol., Lancaster, 10, 1935, 411—424
62. Voelker, J. A.: The influence of boron compounds on wheat and barley. J. Roy. Soc., London, 76, 1915, 347—351.
63. Scharrer, K., u. W. Schropp: Beitrage zur Frage der Wirkung des Bors auf das Pflanzenwachstum Landwirtsch J, Berlin, 79, 1934, 977—999.
64. Bobko, E., O. Sichmann-Kedrova u M Dankowa Die physiologische Rolle und dungende Wirkung einiger Mikroelemente, Bor, Kupfer und Mangan, unter den Verhaltnissen des zugedeckten Bodens. Chemisation soz. Landw., 2, 1934, 22; Ref. Z Pflanzenernahr, Dung u. Bodenkunde, Berlin, A 41, 1936, 363
65. Rehm, S.: Der Einfluß der Borsaure auf Wachstum und Salzaufnahme von Impatiens balsamina. Jahrb. wiss. Bot, Leipzig, 85, 1937, 788—814.
66. Bobko, E. W., G. S. Syworotkin u A I. Filippow: Über neue fur die Pflanze unentbehrliche Elemente II Bodenkunde u. Pflanzenernahrg., Berlin, 4, 1937, 334—339
67. Selke, W.: Neue Moglichkeiten einer verstarkten Stickstoffdungung zu Getreide. Bodenkunde u. Pflanzenernahrg, Berlin, 9 10, 1938, 506 bis 535.

[258]

Photochemie der Stickstoff-Festlegung im Boden und Ähnlichkeit zwischen Stickstoff-Festlegung und Photosynthese.

Von **N. R. Dhar, E. V. Seshycharyulu** und **S. K. Mukerji.**
Chemistry Department, Allahabad University.

Eingegangen: 4. September 1938.

Es ist bekannt, daß die meisten photochemischen Reaktionen, die in umfassender Weise untersucht worden sind, z. B. zwischen Chlor und Wasserstoff, Chlor und Kohlenmonoxyd, organischen Substanzen und Chlor und Brom, in Reaktion mit oxalsaurem Salz und Jod, oxalsaurem Salz und Quecksilberchlorid, usw. exothermische chemische Reaktionen sind. Das einfallende Licht leitet die chemischen Veränderungen nur ein, braucht aber für den Fortschritt der Reaktion nicht notwendig zu sein. Da betrachtliche Energiemengen bei diesen Reaktionen freigemacht werden, so besteht kein Verhältnis zwischen der Anzahl der zersetzten oder gebildeten Moleküle und der Zahl der Lichtquanten, die durch die Reaktionssysteme absorbiert wird. In der Mehrzahl dieser Reaktionen versagt Einsteins Gesetz der photochemischen Äquivalenz, da durch ein Quant absorbiertes Licht viele Moleküle zersetzt oder gebildet werden.

Andererseits ist die Photosynthese von Energiestoffen an der Blattoberfläche, die der Gleichung:

$$6CO_2 + 6H_2O + 676 \text{ Cal} = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

gehorcht, die wichtigste endothermische chemische Reaktion. Anscheinend kann diese Reaktion nicht in der Abwesenheit von Licht vor sich gehen, das hauptsächlich die erforderliche Energie in dieser stark endothermen Reaktion liefert.

Über 25 Jahre haben wir in zahlreichen Veröffentlichungen (1) aus unserem Laboratorium aus die Einleitung der exothermen Reaktion durch die Energie, die von einer anderen exothermen Reaktion erhalten war, erforscht. Auf diese Weise haben wir gezeigt, daß die Energie, die aus der Oxydation einer wässerigen Lösung von Oxalsäure durch Kaliumpermanganat herstammt, eine große Menge Kalomel aus einer Mischung von Quecksilberchlorid und Oxalsäure sogar im Dunkeln bilden kann. Ferner führt die Oxydation von Natriumsulfit, Ferrohydroxyd, Cerohydroxyd oder Manganohydroxyd bei Einwirkung der Luft zu der Oxydation von Nickelohydroxyd oder Kohlehydraten, Fetten, Proteinen usw., selbst in der Abwesenheit von Licht. Die Energiestoffe wie Kohlehydrate, Fette und Proteine wurden einfach dadurch oxydiert, daß Luft durch ihre dem Licht ausgesetzten Lösungen oder Suspensionen geführt wurde. In allen diesen Fällen sind exotherme Reaktionen entweder durch die Wirkung von Licht oder durch die verfügbare Energie einer anderen exothermen chemischen Reaktion eingeleitet worden. Kürzlich haben wir mit Erfolg eine endotherme Reaktion: $N_2 + O_2 + 43{,}2\text{Cal} = 2NO$ mit Hilfe der Energiebestimmung durchgeführt, die wir aus der Oxydation verschiedener Kohlehydrate mit Luft gewannen. So erhielten Dhar und Mukerji eine Stickstoff-Festlegung von 4 bis 6 mg je g oxydiertem Rohrzucker oder Glukose (d. i. etwa 12 mg Stickstoff je g oxydierten Kohlenstoff), indem sie sterile Luft durch Lösungen von Kohlehydraten passieren ließen, die Ferro- oder Cerohydroxyd oder sterilen Boden enthielten, bei vollkommener Abwesenheit von Bakterien im Dunkeln.

Wir haben zahlreiche Versuche ausgeführt, bei denen wir Boden mit verschiedenen Energiestoffen gemischt, dem Lichte aussetzten oder im Dunkel hielten.

Diese Versuche wurden laboratoriumsmäßig und mit Böden des freien Landes durchgeführt. Fügten wir 20 Tonnen Melasse mit 60% Kohlehydrate normalem Boden je Acre zu und setzten ihn der Sonne und dem Lichte aus und wendeten den Boden einmal im Monat um, so wurde 490 lbs Stickstoff

Substanz	Stickstoff bestimmt je Gramm oxydierten Kohlenstoff	
	Taglich 8 Std. dem Sonnenlicht ausgesetzt mg	Dunkel (d. h. mit schwarzem Tuch bedeckt) mg
Im Laboratorium		
Rohrzucker 2% + $CaCO_3$	15,8	10,5
Rohrzucker 2%	14,6	10,2
Glukose 2% + $CaCO_3$	12,5	6,5
Glukose 2%	12,5	6,5
Glyzerol 5%	6,04	2,76
Stärke 5%	7,58	3,13
Mannitol 2%	12,8	6,9
Dextrin 2%	13,03	5,98
Fruktose 2%	11,9	6,8
Maltose 2%	12,6	6,5
Galaktose 2%	12,09	6,7
Kuhdung 5%	20,53	6,55
Feldversuche		
Glukose 5 kg	14,0	7,26
Melasse 10 kg	8,9	3,56
Stärke 4 kg	16,5	5,9
Kuhdung 10 kg	36,58	16,6
Kuhdung 20 kg	33,33	14,64
Fett (gereinigte Butter) 2 kg	11,01	4,6

gebunden. Verwendeten wir 40 Tonnen Melasse je Acre Land, so wurden 600 lbs Stickstoff gebunden, während bei 3 oder 10 Tonnen Melasse je Acre die Stickstoffbindung 110 lbs, respektive 270 lbs betrug. In tropischen Ländern scheint die Düngung mit Kohlehydraten besser zu sein als symbiotische Stickstoff-Festlegung, die dem Acre 50—100 lbs Stickstoff zuführt. Den Gehalt an Gesamtstickstoff und Kohlenstoff bestimmten wir nach der von Robinson, Mc Lean und Williams (2) abgeänderten Kjeldahl-Methode. Die folgenden Ergebnisse der Stickstoff-Festlegung haben wir erhalten mit Böden, die wir mit Energiestoffen vermischten, und die wir mit Licht und im Dunkel hielten.

Die folgenden Ergebnisse erhielten wir, indem wir Boden und Rohrzucker dem Licht einer 1000-Watt-Lampe aussetzten.

Laboratoriumsversuche bei 40°.

Substanz	Stickstoff bestimmt je Gramm oxydierten Kohlenstoff	
1% Rohrzucker	Täglich 8 Std. dem Licht ausgesetzt	33 mg
1% Rohrzucker	Dunkel	6,2 mg
2% Rohrzucker	Ausgesetzt	23,0 mg
2% Rohrzucker	Dunkel	6,8 mg
3% Rohrzucker	Ausgesetzt	20 mg
3% Rohrzucker	Dunkel	5,5 mg
5% Rohrzucker	Ausgesetzt	14 mg
5% Rohrzucker	Dunkel	5,4 mg

In der Absicht, den Einfluß des Lichtes auf die Stickstoff-Festiegung vom statistischen Gesichtspunkt aus zu untersuchen, wurden folgende Versuche ausgeführt:

500 g Boden wurden genommen und mit 2% Mercks extra reinem Rohrzucker und Stärke versetzt. Bei „Kuhdung“ wurde 5% frischer Kuhmist hinzugetan. Kontrollen wurden ebenso behandelt. In allen Fällen wurden vier Wiederholungen angestellt. Die Versuche wurden am 21. Februar 1938 angesetzt.

Zusammensetzung des ursprünglichen Bodens: Gesamtbetrag-N 56,0 mg, Gesamtbetrag-C 521,9 mg, Gesamtbetrag Bakterien 11,2 mill. je Gramm trockenen Boden. Bei Rohrzucker- und Stärkeböden wurden die Böden auf Gesamtstickstoff sofort nach der Vermischung analysiert Es wurden in all diesen Fällen keine Unterschiede im Gehalt an Gesamtstickstoff gefunden.

Bei „Kuhmist“ wurde der Gehalt der Böden an Gesamtstickstoff sofort nach der Vermischung der Böden mit Kuhmist untersucht, und dieser Gesamtbetrag an Stickstoff wurde als der Ausgangsgesamtstickstoff in diesen Versuchsreihen genommen.

Zusammensetzung des Bodens sofort nach der Vermischung mit Kuhdung

Hell Gesamtstickstoff %	Bedeckt Gesamtstickstoff %
73,0 mg	73,0 mg
73,0	74,4
71,4	71,4
73,0	73,0

Eine statistische Betrachtung der oben angeführten Ergebnisse zeigt die Bedeutung des Lichteinflusses auf die Stickstoff-Festlegung. Der Verlust an Gesamtstickstoff ist der Bildung und Zersetzung Ammonium Nitrit zuzuschreiben, das von den stickstoffhaltigen Komponenten gebildet wird.

Rohrzucker am 6. 5. 1938 analysiert.

Hell		Bedeckt	
Gesamtstickstoff %	Gesamtbakterien in Mill. je Gramm trockenen Boden	Gesamtstickstoff %	Gesamtbakterien je Gramm trockenen Boden
67,2 mg	68,2	61,6 mg	225,9
69,6	75,4	61,6	215,0
67,2	64,5	61,6	232,0
68,0	71,2	60,0	246,8
Stärke am 8. 5. 1938 analysiert.			
Hell		Bedeckt	
69,6	98,2	61,6	240,6
68,0	84,6	60,8	272,8
69,6	87,4	60,8	272,8
68,0	91,6	61,6	260,8
Kuhdung am 11 5. 1938 analysiert.			
Hell		Bedeckt	
81,6	105,2	76,3	230,6
80,0	98,6	74,6	220,4
81,6	110,4	76,3	245,6
81,6	100,8	76,3	242,6
Kontrollen am 12. 5. 1938 analysiert.			
Hell		Bedeckt	
53,6	7,6	54,4	10,2
53,6	6,8	54,4	9,8
53,6	8,0	54,4	8,6
54,4	6,8	53,6	8,2

Die Gefäße waren wie folgt angeordnet:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
8, 6, 7, 2, 3, 1, 5, 4,
3, 1, 5, 8, 7, 4, 2, 6,
4, 7, 2, 6, 1, 8, 3, 5.

1. Kontrolle unbedeckt.
2. Kontrolle mit schwarzem Tuch bedeckt.
3. Boden und Rohrzucker unbedeckt.
4. Boden und Rohrzucker bedeckt.
5. Boden und Stärke unbedeckt.
6. Boden und Stärke bedeckt.
7. Boden und Kuhdung unbedeckt.
8. Boden und Kuhdung bedeckt.

Menge (in mg %) des bei verschiedener Behandlung fixierten Stickstoffs.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Gesamt	Mittel
Rohrzucker		Stärke		Kuhmist		Kontrolle			
hell	dunkel	hell	dunkel	hell	dunkel	hell	dunkel		
11,2	5,6	13,6	5,6	8,6	3,3	– 2,4	– 1,6	43,9	5,4
13,6	5,6	12,0	4,8	7,0	3,2	– 2,4	– 1,6	42,2	5,2
11,2	5,6	13,6	4,8	10,2	4,9	– 2,4	– 1,6	46,3	5,7
12,0	4,0	12,0	5,6	8,6	3,3	- 1,6	– 2,4	41 5	51,1
48,0	20,8	51,2	20,8	34,4	14,7	– 8,8	– 7,2	173,9	
12,0	5,2	12,8	5,2	8,6	3,6	– 2,2	– 1,8		

Die vorstehenden Ergebnisse zeigen eindeutig, daß die Stickstoff-Festlegung je g des oxydierten Energiestoffes im Sonnen- oder künstlichen Licht viel größer ist als im Dunkeln. Da die Menge an verfügbarer Energie aus der Oxydation eines g an Energiematerial im Licht und im Dunkel dieselbe ist, so sollte man erwarten, daß auch die Stickstoff-Festlegung im Licht wie im Dunkel dieselbe sein würde. Aber die Versuchsergebnisse zeigen, daß mit allen Energiestoffen die Stickstoff-Festlegung bei der gleichen Menge Energieertrag bei der Oxydation des Energiestoffes im Licht viel größer ist als im Dunkeln. Daher sind wir zu der Entscheidung gekommen, daß in der Stickstoff-Festlegung, die eine endotherme Reaktion ist, die Strahlen der Sonne oder anderer Quellen wirklich dazu ausgenutzt werden, mehr Stickstoff festzulegen, ebenso wie dies bei der Photosynthese oder Kohlenstoffassimilation in Pflanzen oder bei der Bildung von Ozon durch Lichtabsorption geschieht.

Dhar und Seshycharyulu haben die Anzahl Azotobakter in Böden, die Energiestoffe enthalten, und die Menge von Stickstoff, die im Licht und Dunkel festgelegt wurde, bestimmt, und haben

Ein kg Boden und 20 g Maltose wurden im Laboratorium täglich 8 Std. dem Sonnenlicht ausgesetzt. Temperatur 34–42°.

Datum der Analyse	NH_3-N	Gesamtstickstoff	Gesamt-C	Azotobakter in Millionen je g trockenen Boden	
8. 10. 1936 Urspr. Boden	0,0014 %	0,0570 %	0,6156 %	5,2	Stickstoff-N
26. 10. 1936	0,0016	0,0570	1,3684	4,6	wechselnd
12. 11. 1936	0,0021	0,059	1,2672	16,2	von
1. 12. 1936	0,0027	0,0604	1,1696	21,5	0,0032 % bis
17. 12. 1936	0,0032	0,0618	1,0712	32,8	0,0030 %
31. 12. 1936	0,004	0,0626	0,9658	30,2	
19. 1. 1937	0,0044	0,0640	0,8334	31,5	
5. 2. 1937	0,0038	0,0656	0,6868	25,5	
22. 2. 1937	0,0032	0,064	0,6426	16,5	
1. 3. 1937	0,0028	0,0636	0,6284	12,5	
29. 3. 1937	0,0024	0,0626	0,6168	7,5	

Stickstoff in Sonnenlicht festgelegt je g oxydierten Kohlenstoffs = 12,6 mg

Laboratoriumsversuche im Dunkeln. Temperatur 30–38°.

Datum der Analyse	NH_3-N	Gesamtstickstoff	Gesamt-C	Azotobakter in Millionen je g trockenen Boden
8. 10. 1936	0,0014 %	0,0570 %	0,6156 %	5,2
26. 10. 1936	0,0014	0,0570	1,3944	4,9
12. 11. 1936	0,0016	0,0570	1,3163	21,2
1. 12. 1936	0,0019	0,0586	1,2451	40,5
17. 12. 1936	0,0021	0,0596	1,1699	76,5
31. 12. 1936	0,0025	0,0608	1,0873	125,6
19. 1. 1937	0,0028	0,0612	0,9958	202,5
5. 2. 1937	0,0028	0,0612	0,9062	215,0
22. 2. 1937	0,0028	0,0612	0,7936	230,0
7. 3. 1937	0,0024	0,0618	0,6652	250,0
29. 3. 1937	0,0020	0,0612	0,6426	210,0

Stickstoff im Dunkeln festgelegt je g oxydierten Kohlenstoffs = 6,5 mg

gezeigt, daß die Menge Azotobakter je g Boden, der unter Licht gehalten wurde, viel kleiner ist als in dem im Dunkel gehaltenen Boden, obwohl die Stickstoff-Festlegung im Licht viel größer ist als im Dunkel. Die folgenden Tafeln zeigen einige in dieser Hinsicht typische Ergebnisse.

Aus den vorhergehenden Beobachtungen geht klar hervor, daß die Stickstoff-Festlegung im Dunkel stattfinden kann, wenn der Boden mit Energie versorgt ist, die er aus der Oxydation von Energiestoffen, wie Kohlehydraten, Pentosanen, Zellulose usw. erhalten hat. Die Stickstoff-Festlegung vergrößert sich aber beträchlich, wenn auf diesen Stoff entweder Sonnen- oder künstliches Licht einwirkt, das bei diesem Prozeß wie in der Photosynthese im Pflanzenreich oder bei der Bildung von Ozon durch Lichtabsorption verwertet wird. Versuche, die kürzlich von Dhar und Seshycharyulu ausgeführt wurden, zeigen, daß die Stickstoff-Festlegung in mit 2% Glukose behandeltem Boden bei 35° im Dunkeln 7,76 mg je Gramm oxydierten Kohlenstoffs beträgt. Bei höherer oder tieferer Temperatur ist die Stickstoff-Festlegung im Dunkeln viel geringer, während sie unter gleichen Bedingungen im Sonnenlicht 13,1 mg je g oxydierten Kohlenstoffs bei 42° beträgt. Daher ist das Licht und nicht das Zunehmen der Temperatur verantwortlich für die Vermehrung der Stickstoff-Festlegung im Licht.

Dhar und Atma Ram haben gezeigt, daß die Menge Formaldehyd, die durch Einwirkung von Sonnenlicht auf Kaliumbikarbonatlösungen in Quarzgefäßen erhalten wird, viel kleiner ist als die durch Photooxydation organischer Substanzen gebildete Menge. Wenn wir überdies die Menge des gebildeten Formaldehyds mit der Zahl der zersetzten Bikarbonatmoleküle oder der oxydierten organischen Substanz vergleichen, tritt uns sofort ein großer Unterschied entgegen.

Vergleichende Untersuchungen über die Photosynthese von Formaldehyd in vitro aus Losungen Natriumsalzen von Fettsäuren, Kohlehydraten, Aminosäuren und Kaliumkarbonat, die der Sonne und Luft in Quarzgefäßen ausgesetzt waren. Temperatur 35°, Volumen der Versuchslösung = 25 cc, Versuchsdauer 6 Stunden.

Die Menge des in diesen Versuchen gebildeten Formaldehyds wurde mit Schreyers Reagens kolorimetrisch bestimmt.

Obwohl die Salze der Fettsäuren in kleinerem Umfang als die Kohlehydrate und die Aminosäuren unter gleichen Bedingungen oxydiert wurden, so ist die Menge des gebildeten Formaldehyds doch größer bei den Salzen der Fettsäuren als bei den Kohlehydraten und den Aminosäuren.

Es scheint, daß die bei der Photooxydation dieser organischen Substanzen erhaltene Energie einen Teil der notwendigen Energie für die Photosynthese des Formaldehyds liefert. Im Dunkeln findet keine Formaldehydbildung statt. Wir sind der Meinung, daß in der Natur die Photosynthese, die in den Pflanzen stattfindet, unterstützt wird von der durch Pflanzenatmung erhaltenen

Ausgesetzte Verbindungen	Menge der zersetzten oder photo-oxydierten Substanz in g Mol	Prozentsatz der oxydierten oder zersetzten Substanz	Menge des gebildeten Formaldehyd in g Mol	Vergleich der Menge oxydierter oder zersetzter Substanz mit dem gebildeten Formaldehyd
$\frac{m}{5}$ $KHCO_3$	0,098	4,9	0,000001	9800
$\frac{m}{100}$ Natriumoleat	0,0011	1,1	0,0000037	29
$\frac{m}{100}$ Natriumpalmitat	0,000091	0,9	0,000003	30
$\frac{m}{100}$ Natriumstearat	0,000032	0,82	0,0000023	36
$\frac{m}{100}$ Rohrzucker	0,00015	1,5	0,0000018	83
$\frac{m}{100}$ Glukose	0,00016	1,6	0,0000017	126
$\frac{m}{100}$ Alanin	0,00021	2,1	0,0000018	117
$\frac{m}{100}$ Asparaginsäure	0,00018	1,8	0,0000015	120

Energie, die solange vor sich geht, wie die Pflanzen leben. Die Leichtigkeit, mit der Formaldehyd oder andere energiereiche Verbindungen in Pflanzen gebildet werden, ist teilweise der beständigen Zufuhr von Energie aus der Oxydation der in der Pflanze vorhandenen Nahrungsstoffe zuzuschreiben. In der Natur findet Photosynthese in sichtbarem, hauptsächlich roten Licht statt, obwohl die berechnete Wellenlänge im ultravioletten Abschnitt liegt. Wir sind der Meinung, daß die aus der Atmung in der Pflanze erhaltene Energie bereits einen Teil der für die Photosynthese notwendigen Energie liefert und so die Photozersetzung des Wassers, die wohl die wichtigste chemische Veränderung bei dem Prozeß zu sein scheint, bei größerer Wellenlänge ermöglicht. Obwohl die Absorption von Kohlendioxyd und Wasser durch das Blattchlorophyll teilweise diese Stoffe aktivieren kann, ebenso wie die Absorption von Wasserstoff und Sauerstoff an einer Platin- oder Palladiumoberfläche diese wirksam machen kann, scheint es uns, daß diese Aktivierung des Kohlendioxyds und Wassers durch ihre Absorption an der Blattoberfläche weniger wichtig ist als ihre Aktivierung mittels der Absorption von Energie aus der Atmung.

Photosynthese und Atmung.

Bei der Betrachtung der Beziehung zwischen Photosynthese und Atmung haben Spoehr und Mc Gee folgendes festgestellt:

„Die hellgrünen Arten hatten einen kleineren Atmungsbetrag als die normalen Pflanzen, obgleich kein direkter Parallelismus zwischen Chlorophyllgehalt und Atmung zu finden war“, und ferner „Atmung ist ein wichtiger

innerer Faktor, der neben dem Chlorophyllgehalt und der Chloroplastenanzahl die Photosynthese beeinflußt" und weiter: „Die genaue Art und Weise in welcher diese beiden Vorgänge verbunden sind, ist noch eine offene Frage." Es besteht eine nahe Beziehung zwischen Atmung und Photosynthese im Pflanzenreich, weil Photosynthese ohne die verfügbare Energie aus der Atmung für die teilweise Aktivierung des Kohlendioxyds und Wasserdampfs nur schwierig vorwärtsschreitet. Die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Sauerstoff in der Photosynthese erklärt sich also vom selben Gesichtspunkt aus.

Es ist leichter, Formaldehyd oder irgend eine andere energiereiche Komponente aus Kohlensäure und Bikarbonatlösung bei Einwirkung von Licht zu erhalten, wenn eine passende exotherme Reaktion im System stattfindet.

Es ist bekannt, daß beträchtliche Mengen an Energie bei der Oxydation von Kohlehydraten frei werden.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O + 676 \text{ Cal.}$$

Diese Energie kann dazu benutzt werden, die endotherme Reaktion zwischen Stickstoff und Sauerstoff an der Bodenoberfläche zustande zu bringen: ($N_2 + O_2 + 43{,}2 \text{ Cal} = 2\,NO$), selbst unter Ausschluß des Sonnenlichtes.

Das Stickoxyd kann mit Bodenfeuchtigkeit und Kalk die Bildung von Kalziumnitriten und -nitraten hervorrufen, die durch Überschuß an Kohlehydraten im Boden zu Ammoniumsalzen reduziert werden können. Überdies kann die bei der Oxydation der Kohlehydrate an der Bodenoberfläche freiwerdende Energie zur Zersetzung von Wassermolekülen nach der folgenden Gleichung führen:

$$H_2O + 112 \text{ Cal} = H + OH.$$

Dieser atomare Wasserstoff kann sich leicht mit molekularem Stickstoff und Ammoniumsalzen an der Bodenoberfläche bilden. Wenn ein mit Kohlehydrat, Glyzerin usw. vermischter Boden in Berührung mit Luft gerät, so nimmt der Kohlenstoff ab und der Gesamt- und der Ammoniumstickstoff nimmt durch Stickstoff-Festlegung zu. Bei der Absorption im Licht sind alle diese Vorgänge, die im Dunkeln stattfinden können, wenn die Energie der Oxydation der Kohlehydrate an der Bodenoberfläche verfügbar ist, beschleunigt und daher kann im Licht eine höhere Stickstoff-Festlegung je g des oxydierten Energiestoffes beobachtet werden. Unter natürlichen Bedingungen werden große Mengen Stickstoff im Boden durch die Energie der Zelluloseoxydation mit Hilfe des Sonnenlichts gebunden. Nach Moores Ansicht ruft Sonnenlicht eine unbedeutende Vereinigung von Stickstoff und Sauerstoff in der Luft hervor, die ihren Niederschlag in der Bildung von Stickoxyd findet. Dhar und Sanyal haben die Bildung von Spuren salpetriger Säure beobachtet, wenn Luft, frei von Verunreinigungen durch Leitfähigkeitswasser, in Gegenwart von ultraviolettem Licht geleitet wurde. Diese Reaktion kann nicht weit gehen, da sich salpetrige Säure im Licht nach der Gleichung

$$3HNO_2 \rightleftarrows HNO_3 + 2NO + H_2O$$

leicht zersetzt. Auch Salpetersäure und Nitrate zersetzen sich im Licht. Ähnlicherweise kann folgende Reaktion

$$H_2O + CO_2 + 112 \text{ Cal} = HCHO + O_2$$

nur in einem sehr begrenzten Ausmaß in Luft stattfinden, da sich Formaldehyd leicht im Licht zersetzt. Dhar und Atma Ram erhielten 0,001 g Formaldehyd auf ein Liter frisch gesammeltes Regenwasser. Die Vereinigung von Stickstoff und Kohlendioxyd und Wasserdampf wird sehr beschleunigt, wenn die Energie der Kohlenhydratoxydation zusammen mit dem Sonnenlicht im System verfügbar ist.

Die Wirksamkeit der Stickstoff-Festlegung ist ebenso niedrig wie im Falle der Kohlenstoffassimilation. Es ist bekannt, daß in vielen Fällen nur 0,1 bis 0,2 % der Lichtenergie bei der Kohlenstoffassimilation der Pflanzen ausgenutzt wird. Bei unseren Versuchen über Stickstoff-Festlegung ist nicht einmal 1 % der aus der Oxydation der Kohlehydrate oder Zellulosestoffe oder Fette ge-

wonnenen Energie zur Festlegung benutzt worden. Es ist interessant, an dieser Stelle zu bemerken, daß Berthelot von der Bildung salpetriger Säure in kleinen Mengen bei der Verbrennung von Kohlenstoff, Schwefelmetallen, Wasserstoff und anderen energiereichen Substanzen berichtet. Russel (10) und andere wiesen Spuren von Ammoniumnitrat bei der Oxydation von Phosphor nach. Verschiedene Forscher haben sehr kleine Mengen Ozon oder Wasserstoffperoxyd bei der langsamen Oxydation von Metallen und anderen energiereichen Stoffen erhalten. Es scheint, daß die verfügbare Energie aus der Oxydation von energiereichen Substanzen dazu benutzt wird, um die Bildung von Salpetersäure, Ozon, Wasserstoffperoxyd usw. zustandezubringen, die Energie gebrauchen, obwohl der Wirkungsgrad des Prozesses gering ist.

Da der Boden porös ist und die Oberfläche durch die Bearbeitung erneuert wird, kann der Einfluß des Lichtes im Boden durch die Bearbeitung wirksam werden. Die Eindringung des Lichtes in Böden unter tropischen Bedingungen ist wahrscheinlich sehr wichtig. (Vgl. Hoerlin (7) und Corbet (8).

Es ist bekannt, daß Stickstoff ein „flüchtiger Geselle“ ist und daß mehr als 60% der in Form von Dünger zugesetzten Stickstoffverbindungen als elementarer Stickstoff im Boden im Verlauf der Oxydation verloren geht, besonders wenn eine große Menge von Stickstoffverbindungen zugefügt wurde. Daher werden die durch die Festlegung gebildeten Stickstoffverbindungen ebenfalls an der Bodenoberfläche oxydiert und erleiden Verluste, die der Bildung und Zersetzung des unbeständigen Ammoniumnitrits, das im Laufe der Proteinoxydation gebildet wird, der Ammoniumsalze und anderer Stickstoffverbindungen zuzuschreiben ist.

Zusammenfassung.

1. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Stickstoff-Festlegung je g oxydierten Kohlenstoffs im Sonnen- oder künstlichen Licht viel größer ist als im Dunkeln. Dies geschieht in Vitroschalen mit Boden und im freien Feld.

2. Wenn der Boden mit energiereichen Stoffen gemischt ist, ist die Stickstoff-Festlegung immer größer im Licht als im Dunkel obwohl die Azotobakterzahl im Licht viel kleiner ist als im Dunkel,

3. Es scheint, daß die für die Stickstoff-Festlegung benötigte Energie durch die Energie der Oxydation der Energiestoffe und durch Sonnenlicht oder irgend eine andere Lichtquelle geliefert wird.

4. In Gegenwart von Glukose ist die Stickstoffbindung des im Dunkel gehaltenen Bodens bei 35° am höchsten, aber sie ist viel geringer als im Licht. Bei höheren Temperaturen ist die Stickstoff-Festlegung im Dunkel viel geringer.

5. Unsere Ergebnisse zeigen, daß bei der Stickstoff-Festlegung

Sonnenlicht oder künstliches Licht ebenso benutzt wird wie bei der Kohlenstoffassimilation.

6. Der Umfang der Formaldehydbildung ist bei der Photooxydation von Kohlehydraten, Natriumsalzen der Fettsäuren und Aminosäuren immer größer als derjenige, der aus dem Licht ausgesetzten Kaliumbikarbonatlösungen gewonnen wird.

7. Es ist leicht, eine Stickstoffverbindung oder Formaldehydbildung bei Einwirkung des Lichtes zu erhalten, wenn die Energie aus einer geeigneten exothermen Reaktion zur Verfügung steht, die in dem System stattfindet.

8. Die Wirkung des Lichtes auf die Stickstoff-Festlegung in Boden bei Mischung mit Energiestoffen wie Zucker. Stärke, Kuhmist usw. festzustellen, hat sich als statistisch bedeutsam erwiesen.

Schrifttum.

1. Dhar, N. R.: J. Chem. Soc. 1917, III. New Conceptions in Bioch. 1932, 20–29, 63–64.
2. Robinson, Mc Lee u. Williams: J. Agr. Sci., **19**, 1929, 315.
3. Dhar u. Atma Ram: Gold Spring Harbor Symposia om Quantitative Biology **III**, 1935, 151; J. Phys. Chem., **37**, 1933, 525.
4. Dhar u. Atma Ram: Z. anorg. u. allg. Chemie, 1932, **206**, 171.
5. Moore Biochem., **72**, 1921.
6. Dhar u. Sanyal: J. Phys. Chem., **29**, 1925, 926
7. Hoerlin: Phys. Z., **35**, 1934, 793.
8. Corbet: Bioch. J., **28**,1934, 1515; **29**, 1935, 1088.
9. Bertehlot: C. R., **130**, 1900, 1345, 1430, 1662.
10. Russell: J. Chem. Soc., **83**, 1903, 1263.
11. Spoehr: Photosynth., **143**, 1926. [248]

Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz.

Von **A. Jacob**, Berlin.

Aus der Wissenschaftl. Abteilung des Deutschen Kalisyndikats, Berlin.

Eingegangen: 25. November 1938.

Die augenfälligen Erfolge, welche die Landwirtschaft der Landwirtschaftschemie vor allem durch die Einführung der Handelsdünger zu verdanken hat, haben dazu geführt, daß man die wissenschaftliche Forschung hauptsächlich als ein Mittel zur Verbesserung der Ernteertrage betrachtete. Mehr und mehr beginnt jedoch die Frage in den Vordergrund zu treten, ob durch die intensive Nutzung auf die Dauer nicht eine Verschlechterung des Bodens bewirkt werde. Vor allem in den Tropen sieht man häufig, wie jungfräuliches Land, das unter Kultur gebracht worden ist und zunächst hohe Erträge lieferte, die Neigung hat, sich rasch zu verschlechtern. Ein warnendes Beispiel bieten ferner ausgedehnte Strecken der Vereinigten Staaten, in denen durch den Ackerbau der physikalische Zustand der Böden so verschlechtert wurde, daß der Fortsetzung des Ackerbaues große Gefahren durch die Bodenerosion drohen. Auch für unsere deutschen Böden, die durch den Fleiß und die Erfahrung unserer Bauern auf einen weit höheren Fruchtbarkeitszustand gebracht worden sind, als ihnen auf Grund ihrer natürlichen Bildungsbedingungen zukommen würde, besteht die Gefahr, daß sie sich verschlechtern, wenn ihnen nicht die richtige Pflege zuteil wird. In ganz großem Maße erwächst daher der deutschen Landwirtschaftschemie die Aufgabe, dafür Sorge zu tragen, daß die Gefahr einer Verschlechterung der so außerordentlich intensiv genutzten deutschen Böden verhütet wird.

Seitdem das Problem der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in seiner Wichtigkeit erkannt worden ist, hat die Wissenschaft verschiedene Wege eingeschlagen, um einer Verschlechterung der Böden vorzubeugen. So setzt sich die Humusforschung neuerdings intensiv mit der Frage auseinander, ob die Erhöhung der Ernten, die durch die Zufuhr mineralischer Nährstoffe bewirkt wurde, nicht einen Raubbau am Humusgehalt der Böden bedingt. Die Kalkfrage wird nicht nur im Hinblick auf die sofortige Wirkung von Kalk auf den Ertrag, sondern vor allem deshalb so intensiv bearbeitet, um Mittel und Wege zur Verhütung der sich aus einer Vernachlässigung des Kalkzustandes ergebenden chemischen und physikalischen Verschlechterung unserer Böden zu finden.

Auch die Untersuchungen des Bodens auf seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen müssen mehr und mehr in den Dienst der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gestellt werden. Ursprünglich sah man die Bedeutung derartiger Bodenuntersuchungen in erster Linie darin, daß sie durch Bestimmung der im Boden vorhandenen Mengen an pflanzenlöslichen Nährstoffen anzeigen sollten, ob es möglich sei, unter Ausnutzung des natürlichen Nährstoffgehaltes eines Bodens eine Zeit lang Dünger zu sparen und auf diese Weise die Rentabilität des Betriebes zu erhöhen.

Heute ist die wichtigste Aufgabe der Bodenuntersuchungen unstreitig in der Nährstoffkontrolle zu sehen, nämlich in der Beantwortung der Frage, ob wir so wirtschaften, daß unser Boden nicht geschädigt wird.

Die Problemstellung verschiebt sich damit bei der Bodenuntersuchung insofern, als man nicht mehr in erster Linie anstrebt, auf Grund der Bodenuntersuchung voraussagen zu können, ob auf einem bestimmten Boden eine Düngung sich bezahlt machen wird oder nicht, eine Aufgabe, die an und für sich von der Bodenuntersuchung nur unter gewissen Voraussetzungen gelöst werden kann.

Heute ist es die vornehmste Aufgabe der Bodenuntersuchung, festzustellen, ob die Düngung ausreicht, um einen Rückgang des Nährstoffgehaltes des Bodens zu verhüten; denn dies würde bedeuten, daß wir auf Kosten unserer Nachkommen von dem Bodenkapital zehren, das uns unsere Vorfahren vererbten.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß wir bei der heutigen Wirtschaftsweise einen solchen Raubbau treiben. Das ergibt sich schon aus der gesamten Nährstoffbilanz unserer Böden, die deutlich zeigt, daß wir jahraus, jahrein dem Boden durch die Ernten beträchtlich höhere Nährstoffmengen entziehen, als wir ihm durch die Düngung wieder zuführen. Hinsichtlich des Nährstoffes Kali z. B. gestaltet sich die Nährstoffbilanz der deutschen Böden wie folgt

Jährlicher Kalientzug durch die Ernten	27,4 Mill. dz/K_2O
Jährliche Kalizufuhr durch Stallmist	8,5 Mill. dz/K_2O
Jährliche Kalizufuhr durch Kalisalze	11,5 Mill. dz/K_2O

Aus den Vorräten an Bodenkali werden mithin jährlich dem Boden etwa 7,4 Mill. dz K_2O entnommen, das macht je ha rund beinahe 30 kg aus. Es gibt sicher Böden, auf denen sich ein derartiger Raubbau auf Jahre hinaus zunächst nicht fühlbar machen wird; selbst auf reichen Böden kann er aber unmöglich ein Dauerzustand sein. Wenn wir vom Gesamtgehalt des Bodens an Kali ausgehen und diesen mit 1,0% der Ackerkrume annehmen, so gibt dies für eine Krumenschicht von 20 cm Tiefe, die je ha 3 Millionen kg wiegen möge, einen Gesamtvorrat an Kali von 30000 kg/ha. Theoretisch könnten wir also den jährlichen Entzug aus dem Kalivorrat des Bodens von 30 kg/ha tausend Jahre lang fortsetzen, bis der Kaligehalt des Bodens restlos erschöpft wäre. Nun sind tausend Jahre zwar für das Individuum eine unendlich lange Zeit, für die Geschichte der Völker aber sind sie immerhin nur eine Epoche. Während Länder, die Raubbau getrieben haben, wie z. B. das Perserreich in Mesopotamien, nach tausendjähriger Blütezeit dem Verfall entgegengingen, kann China dank seiner Düngerwirtschaft, die dem Boden restlos die entzogenen Stoffe wiedererstattet, auf eine Geschichte von 4000 Jahren zurückblicken. In Wirklichkeit läßt sich aber ein Raubbau gar nicht bis zur vollständigen Erschöpfung des Gesamtkalivorrates durchführen, da der größte

Teil desselben fast vollkommen unlöslich ist. Bereits weit früher würde eine Verschlechterung, ja Vernichtung der Ertragsfähigkeit unserer Böden herbeigeführt werden, denn diese hängt ja hinsichtlich des Kalis nicht von dem Gesamtgehalte ab, sondern von dem weit geringeren Gehalt an pflanzenaufnehmbarem Kali.

Das Kali liegt im Boden in Formen von verschiedener Löslichkeit vor. Am leichtesten steht den Pflanzen das in der Bodenlösung enthaltene Kali zur Verfügung. In den Bodenkolloiden ist Kali zum Teil in zwar nicht wasserlöslicher, aber gegen andere Kationen austauschfähiger und den Pflanzen verhältnismäßig leicht zugänglicher Form enthalten. Zum Teil enthalten die Bodenkolloide das Kali aber auch in Form von Mineralien, deren Kaligehalt weniger löslich, bzw. unlöslich ist. Praktisch vollständig unlöslich ist schließlich der Kaligehalt der gröberen Bodenteilchen. Unsere Berechnung, wie lange es dauern würde bis zur Erschöpfung des Kaligehaltes der Böden, darf also nur die weit geringeren Mengen an Kali berücksichtigen, die in der Bodenlösung bzw. in den Bodenkolloiden auftreten. Das Verhältnis, in dem diese Mengen zur Menge an Gesamtkali stehen, hat sich herausgebildet als Ergebnis der bodenbildenden Faktoren, die durch viele Jahrtausende hindurch auf unsere Böden eingewirkt haben. Wenn wir dieses Gleichgewicht stören, indem wir dem Boden größere Mengen von leicht loslichem Kali entnehmen, so ist im allgemeinen nicht damit zu rechnen, daß durch die Einwirkung der Verwitterung das ursprüngliche Gleichgewicht sich mit genügender Geschwindigkeit neu einstellt. Auf Böden, die reich an Kolloiden sind, kann sich vielleicht eine geringe Verschiebung dadurch wiederaufheben, daß sich das Gleichgewicht zwischen Kaligehalt der Bodenlösung und adsorptiv gebundenem Kali wieder herstellt und daß der Kaligehalt leicht verwitterbarer Bodenmineralien in die austauschfähige Form übergeht. Bei fortgesetzter Erschöpfung des leicht löslichen Kalis wird aber mehr und mehr die Geschwindigkeit der Wiederherstellung dieses Gleichgewichtes unter das erforderliche Maß zurückgehen, so daß der Boden nicht mehr in der Lage ist, den Kalibedarf der angebauten Früchte zu decken.

Für die Bodenuntersuchung ergibt sich daher als neue und wichtigste Aufgabe, den dynamischen Nährstoffhaushalt des Bodens zu kontrollieren, also festzustellen, ob der Boden bei der jetzigen Nutzungsart in der Lage bleibt, die erforderlichen Nährstoffmengen dauernd nachzuliefern.

In bezug auf den Kalihaushalt läßt sich folgendes sagen. Für die Geschwindigkeit der Nachlieferung aus den verschiedenen Kaliquellen des Bodens gelten verschiedene Gesetzmäßigkeiten, so daß es für eine chemische Untersuchung nicht einfach ist, die Veränderungen im Kalihaushalt des Bodens zu erfassen.

Nur eine umfassende Berücksichtigung aller physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnisse des Bodens könnte die Aussicht bieten, näheren Einblick in diese komplizierten Vorgänge zu verschaffen. Dieser Weg ist bei der Untersuchungsmethode von Vageler-Alten eingeschlagen worden. Für Bodenuntersuchungen im Dienste der praktischen Landwirtschaft kann ein solches Vorgehen aber nicht in Frage kommen, denn hier ist nur eine Methode brauchbar, die weniger umständlich ist und in größerem Umfange durchgeführt werden kann.

Bei der Prüfung der verschiedenen vorgeschlagenen Methoden für die praktische Bodenuntersuchung ist vorläufig die Keimpflanzenmethode von Neubauer als die Methode gewählt worden, die Leichtigkeit der Durchführung mit ausreichender

Sicherheit verbindet. Die Methode von Neubauer setzt sich über die Schwierigkeit, den für die Pflanzen als genügend rasch aufnehmbar anzusehenden Löslichkeitszustand der Bodennährstoffe allgemein festzusetzen, dadurch hinweg, daß sie die Pflanze selbst als Aufschlußmittel für den Boden benutzt und auf diese Weise das jeweils in pflanzenaufnehmbarer Form vorliegende Kalikapital des Bodens zu erfassen versucht. Es müßte demnach, wenn die Grundlage dieser Methode stimmt, möglich sein, durch eine Bodenuntersuchung vor und nach Entnahme einer Ernte die Veränderungen im Gehalt an pflanzenaufnehmbarem Kali festzustellen, die durch den Kalientzug der Ernten bedingt sind. Diese Möglichkeit stellt das wichtigste Kriterium für die Berechtigung der dieser Methode zugrunde liegenden Annahme dar.

Neubauer (1) hat dies in der Weise untersucht, daß er auf einem Felde kleine Flächen von 2 bzw. 6 qm genau abgrenzte und dort vor der Saat und kurz nach der Ernte Krumenproben für die Untersuchung entnahm. Ferner wurden die sorgfältig entnommenen und gewogenen Ernten dieser kleinen Flächen untersucht. Bei diesen „Quadratmeter-Versuchen", die auf den verschiedenen Bodenarten durchgeführt wurden, ergab sich im allgemeinen eine gute Übereinstimmung zwischen dem gefundenen Neubauerwert nach der Ernte und dem auf Grund des Kalientzuges berechneten Werte.

Wir haben versucht, festzustellen, ob diese theoretisch zu erwartende Veränderung der Neubauerwerte infolge des Nährstoffentzuges der Ernten auch in Erscheinung tritt bei den unvermeidlichen Schwankungen, die auf größeren Flächen durch Ungleichmäßigkeit des Bodens und andere Fehlerquellen verursacht werden.

Ähnliche Untersuchungen hat bereits K. Opitz (2) auf Bördeboden und Sandboden durchgeführt. Auf dem Sandboden von Bornim fand er zwar für Kali keine befriedigende Übereinstimmung, auf den Schwarzerdeböden war die Übereinstimmung zwischen Soll und Haben dagegen befriedigend, teilweise sogar gut. Er kam zu dem Schluß, daß man eine Nährstoffbilanz nur bei einer Beschränkung der Untersuchungsperiode auf drei Jahre feststellen kann.

Wir benutzten für unsere Untersuchungen den Boden von dem Dauerversuchsfeld der Versuchsstation Lichterfelde. Es handelt sich um einen Sandboden von folgender mechanischer Analyse:

Teilchengroße				
2 - 0,2 mm	0,2 - 0,1 mm	0,1 - 0,05 mm	0,05 - 0,02 mm	- 0,02
56,2%	26,8%	6,2%	1,5%	9,3%

An Kalimineralien liegen im Boden vor: Mikroklin, Muskovit und Orthoklas. Von diesen weist der Muskovit eine gewisse Aufnehmbarkeit durch die Pflanzen auf, während Orthoklas und Mikroklin als unlöslich anzusehen sind. Der Gehalt des Bodens an Gesamtkali war in der Krume 0,77%; im 10%igen Salzsäureauszug waren nur 0,08% Kali löslich. Wie der geringe Gehalt an Ton und an salzsäurelöslichem Kali zeigt, ist bei diesem Boden die Nachlieferungsfähigkeit von Kali aus leicht verwitternden kalihaltigen Mineralien offenbar gering. Eine Neueinstellung des Gleichgewichts von unlöslichem Kali und pflanzenaufnehmbarem Kali ist auf diesem Boden also nur verhältnis-

mäßig langsam zu erwarten, so daß eine Störung dieses Gleichgewichtes infolge Kalientzug durch die Ernten voll in Erscheinung treten sollte.

Der unserer Untersuchung zugrunde gelegte Versuch wird seit 1930 auf dem Versuchsfeld der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Berlin-Lichterfelde als Fruchtfolgeversuch mit fünf Versuchsgruppen durchgeführt. Die einzelnen Schläge des Versuchsfeldes werden in der Fruchtfolge „Kartoffeln, Winterroggen, Leguminosen, Rüben und Winterweizen bzw. Hafer“ bebaut. In den Jahren 1930 und 1931 wurde auf den Schlägen C 1 und C 2 an Stelle der vorgesehenen Früchte Mais angebaut. Jeder Schlag hat eine besondere Aufgabe Der Schlag C 1 dient zur Prüfung der zweckmäßigsten Anwendungszeit der Kalidüngung. An den Schlägen C 2 und C 3 werden Steigerungsversuche mit Kalimagnesia bzw. mit 40er Kalidüngesalz durchgeführt und auf den Schlägen C 4 und C 5 wird die Wirkung von schwefelsaurem Kali, Kalimagnesia, 40er Kalidüngesalz und Kainit vergleichend geprüft. Die Versuchsteilstücke erhielten während des Versuches lediglich die im Versuchsplan aufgeführten Nährstoffe als Handelsdünger. Über die Erträge auf den einzelnen Versuchsstücken gibt die Tabelle 1 Auskunft.

Ein Blick auf die Tabelle zeigt, daß die Höhe der Erträge — und damit auch der Kalientzug aus dem Boden — durch die Zeit des Ausstreuens der Kalisalze, die Höhe der Kaligabe und die Form der angewandten Kalidüngung sehr stark beeinflußt wird.

Durch die Fruchtfolge ist bedingt, daß die einzelnen Früchte auf den verschiedenen Versuchsschlägen unter jeweils verschiedenen klimatischen Verhältnissen angebaut wurden. Beim Vergleich der einzelnen Versuche untereinander zeigen sich daher sehr beachtliche Unterschiede in den Ergebnissen gleichgedüngter Teilstücke. Die Ernte an Winterweizen betrug z. B. bei Ungedüngt 1934 10,4 dz und 1935 6,2 dz Korn, oder an Gesamttrockensubstanz 1934 28,2 dz und 1935 17,2 dz. Ähnlich verhält es sich bei Kartoffeln, wo 1935 28,2 und 1936 35,6 dz Trockensubstanz geerntet wurden. Diese durch die Witterung bedingten Unterschiede der Ernten der einzelnen Früchte wirken sich natürlich auf die Gesamternte der einzelnen Schläge aus. So schwankt z. B. die Gesamternte während der ganzen Dauer des Versuches bei Ungedüngt zwischen 347,9 dz auf Schlag C4 und 400,8 dz Trockensubstanz je ha auf Schlag C3.

Während der Gesamtdauer der Versuche hat sich die Kaliwirkung, die bei Beginn der Versuche im allgemeinen gering war, allmählich ganz beträchtlich verstärkt.

Im Jahre 1930 war z. B. auf Schlag C_5 bei NP die Ernte 45,8 dz Korn, ein Mehrertrag durch Kali wurde praktisch nicht erzielt, höchstens wies der Kainit mit 47,4 dz eine geringe Steigerung auf. Im Jahre 1932 brachte die Düngung NP 38,8 dz Korn, die Volldüngung mit Kainit 41,1 dz Korn, mit 40er Kalidüngesalz 39,4 dz und mit Kalimagnesia, die am besten abschnitt, 45,0 dz.

Ähnliche Unterschiede sind auch bei Kartoffeln festzustellen. Im ersten Versuchsjahr 1930 waren die Erträge an Kartoffeln auf den mit 40er Kalidüngesalz gedüngten Teilstücken von Schlag C 4 219,8 dz, also wesentlich geringer als auf den NP-

Tabelle 1. Übersicht über

Jahr	Frucht	Düngung N	Düngung P_2O_5	Düngung K_2O	Erträge in dz/ha Frischsubst. (Korn bzw. Kartoffeln) O	NP	NPK	NPK
C1: Zeit der Kalidüngung[2]).							K_1	
1930	Mais (g)[1])	120	90	240	270,3 ± 8,22	470,8 ± 10,17	475,0 ± 20,33	514,2 ± 19,0
1931	Mais (g)	40	40	60	223,6 ± 14,2	388,3 ± 19,2	414,4 ± 36,2	458,9 ± 38,6
	Lupine (g)	—	—	—	40,1 ± 3,9	36,3 ± 4,0	34,8 ± 3,1	42,5 ± 4,7
1932	Kartoffel	75	40	120	234,4 ± 8,1	321,2 ± 9,4	383,1 ± 8,7	401,2 ± 15,9
1933	W.-Roggen	35	40	100	25,3 ± 1,7	33,4 ± 0,6	35,3 ± 2,1	39,4 ± 2,2
1934	Lupine	20	40	60	8,8 ± 1,4	6,7 ± 0,8	6,9 ± 0,5	8,5 ± 0,8
1935	Futterrübe	75	60	180	369,4 ± 20,0	450,6 ± 29,4	798,9 ± 81,1	777,8 ± 81,1
1936	Hafer	60	60	100	19,1 ± 1,8	26,4 ± 1,8	37,7 ± 2,7	40,9 ± 3,1
C2: Steigende K_2O-Gaben in Kalimagnesia.								
1930	Lupine	25	120	80–160–240	19,8 ± 1,6	17,9 ± 0,6	19,1 ± 2,2	19,9 ± 1,8
1931	Zuckerrübe	80	60	60–120–180	184,4 ± 22,4	306,7 ± 11,9	369,4 ± 14,9	361,7 ± 26,1
1932	W.-Weizen	50	50	80–160 240	18,6 ± 0,9	30,6 ± 0,9	33,7 ± 1,6	35,9 ± 1,6
1933	Kartoffel	80	80	75–150–200	123,3 ± 2,8	178,9 ± 7,5	266,1 ± 4,4	269,4 ± 8,5
1934	W.-Roggen	50	40	60–120–180	29,4 ± 1,6	37,3 ± 3,5	37,6 ± 3,6	39,5 ± 1,9
1935	Lupine	20	40	60–120–180	12,9 ± 2,8	9,3 ± 1,1	9,7 ± 2,4	10,5 ± 2,8
1936	Futterrübe	75	60	80–160–200	294,4 ± 39,8	210,6 ± 22,8	608,9 ± 41,1	695,0 ± 48,9
C3: Steigende K_2O-Gaben in 40er Kalidüngesalz.								
1930	Hafer	60	90	80–160–240	19,0 ± 1,4	31,9 ± 1,1	32,4 ± 2,3	33,1 ± 1,9
1931	Lupine	20	40	40– 80–120	21,2 ± 1,2	23,2 ± 0,8	23,2 ± 1,1	20,8 1,0
1932	Mais (g)	60	40	60–120–180	101,9 ± 3,7	98,9 ± 3,9	119,7 ± 2,7	138,4 ± 6,5
	Steckrübe				376,7 ± 11,3	461,1 ± 36,4	421,7 ± 39,8	497,2 ± 31,6
1933	W.-Weizen	50	40	60–120–180	15,7 ± 1,2	28,3 ± 2,6	29,1 ± 2,0	34,6 ± 1,8
1934	Kartoffel	80	80	90–150–200	121,7 ± 16,3	184,5 ± 28,2	237,2 ± 9,8	302,2 ± 20,9
1935	W.-Roggen	50	50	60–120–180	20,9 ± 0,4	31,4 ± 0,2	31,7 ± 1,3	33,4 ± 1,6
1936	S.-Lupine	20	40	60–120–180	15,3 ± 1,0	12,8 ± 0,8	19,3 ± 1,7	20,5 ± 0,8
C4: Vergleich von schwefelsaurem Kali, 40er Kalidüngesalz und Kalimagnesia.								
1930	Kartoffel	100	100	200	234,0 ± 23,6	283,8 ± 28,3	334,3 ± 39,7	219,8 ± 10,8
1931	W.-Roggen	40	40	60	30,1 ± 1,6	39,8 ± 1,1	42,2 ± 2,8	43,1 ± 3,5
	Lupine							
1932	Lupine (g)	20	40	60	312,8 ± 31,6	300,0 ± 11,4	329,4 ± 11,0	330,0 ± 25,8
1933	Zuckerrübe	80	80	200	182,8 ± 49,0	111,7 ± 25,3	262,2 ± 52,3	243,9 ± 24,4
1934	W.-Weizen	50	40	100	10,4 ± 1,9	11,3 ± 1,5	12,7 ± 3,1	14,1 ± 2,2
1935	Kartoffel	80	80	200	106,1 ± 10,4	98,9 ± 2,8	233,9 ± 2,5	243,3 ± 9,3
1936	W.-Roggen	60	60	100	16,2 ± 1,1	23,1 ± 2,3	30,2 ± 2,8	29,4 ± 0,8
C5: Vergleich von Kainit, 40er Kalidüngesalz und Kalimagnesia.								
1930	W.-Roggen	90	70	180	39,9 ± 3,1	45,8 ± 3,4	47,4 ± 2,1	46,5 ± 1,9
	Lupine (g)							
1931	Kartoffel	60	40	90	176,7 ± 8,2	214,4 ± 4,5	360,6 ± 13,2	303,9 ± 14,7
1932	W.-Roggen	50	50	80	29,4 ± 2,4	38,8 ± 1,2	41,1 ± 1,5	39,4 ± 3,6
1933	Lupine	20	40	60	19,7 ± 1,4	17,8 ± 1,5	21,2 ± 1,2	21,4 ± 1,1
1934	Futterrübe	75	60	180	214,4 ± 57,4	125,6 ± 28,9	891,1 ± 47,1	475,0 ± 81,4
1935	W.-Weizen	50	50	100	6,2 ± 1,4	5,7 ± 0,6	14,3 ± 1,0	14,2 ± 2,4
1936	Kartoffel	80	80	200	114,4 ± 15,7	98,9 ± 6,8	302,8 ± 4,1	273,3 ± 5,3

[1]) g = grün geerntet. — [2]) K_1 = 4 Wochen vor der Saat, K_2 = bei der Saat, K_3 = Kopf-

Düngung, Fruchtfolge und Erträge.

oder Rüben)	Erträge in dz/ha Gesamttrockensubstanz				
NPK	O	NP	NPK	NPK	NPK
K_3			K_1	K_2	K_3
495,1±11,89	59,4±0,72	107,4±4,44	108,1±3,83	111,7±5,94	112,7±4,0
360,0±13,8	29,6±1,4	50,6±4,0	52,5±1,8	54,8±2,5	50,1±1,9
33,3± 4,5	5,9±0,61	5,8±0,56	5,2±0,33	5,7±0,11	4,9±0,56
367,6± 8,6	72,0±2,6	106,4±3,3	108,7±3,0	116,8±4,7	105,7±1,3
34,6± 0,7	65,6±4,7	91,9±4,6	94,0±5,8	100,6±4,1	89,6±1,3
7,3± 0,8	30,2±4,2	22,5±2,8	24,7±1,2	29,4±1,8	26,2±3,3
685,0±15,0	64,2±3,6	74,7±5,0	121,7±6,4	110,9±9,0	102,7±4,2
34,7± 1,6	37,6±3,6	53,7±3,1	74,6±3,7	76,8±4,9	70,8±3,2
16,2± 1,4	61,5±3,9	59,9±3,4	58,3±4,8	62,0±3,1	48,6±2,5
343,9±30,1	70,0±7,9	111,3±4,1	125,7±6,6	127,0±9,0	115,6±9,3
32,8± 1,0	43,4±1,4	75,5±2,0	81,6±3,1	89,1±3,6	78,0±1,5
286,1±18,2	28,8±0,8	42,1±1,9	53,9±1,2	59,1±1,2	63,6±3,2
39,3± 2,2	74,7±3,1	100,4±7,2	101,1±7,9	109,7±4,6	105,3±2,6
7,1± 1,2	56,2±6,0	43,2±2,7	52,5±6,1	60,3±5,9	52,1±3,9
706,7±45,0	55,1±7,3	48,5±3,8	111,5±7,2	125,0±7,2	122,8±7,9
32,2± 1,9	35,6±1,7	63,0±1,6	63,1±2,4	65,6±4,9	62,7±2,6
21,3± 0,9	90,0±4,9	94,2±4,0	95,8±4,4	102,1±5,7	96,4±2,2
128,4± 2,3	14,7±1,4	14,1±0,6	13,1±0,6	15,6±1,6	13,9±0,9
513,3± 5,5	86,1±2,7	100,6±6,3	100,6±8,8	114,0±3,7	103,2±1,4
32,4± 0,6	46,2±4,0	76,9±5,4	83,0±4,9	94,2±5,8	87,5±2,1
315,6±16,3	29,0±3,9	44,5±5,6	58,1±2,6	70,1±6,8	67,7±3,3
30,1± 2,3	57,8±1,4	86,0±1,4	89,9±2,7	91,2±4,8	88,3±4,7
18,7± 1,7	41,4±2,5	35,5±2,2	47,9±5,9	53,7±2,1	55,5±4,9
316,7±28,1	64,7± 5,2	81,8±6,3	90,2± 8,5	70,9±4,4	88,4± 7,3
39,9± 1,2	71,2± 2,6	90,2±2,9	104,6± 5,1	96,9±3,4	102,1± 5,7
	10,6± 0,5	8,1±1,8	7,8± 1,1	9,5±1,6	12,2± 2,2
329,4±38,2	35,3± 2,7	39,8±4,5	35,4± 1,9	38,9±5,6	43,4± 8,7
362,2±43,8	60,7±13,6	42,3±8,7	94,0±21,3	89,0±8,2	115,8±14,1
18,6± 1,6	28,2± 4,1	29,6±4,1	40,3± 7,5	46,5±5,8	55,8± 5,7
291,7± 7,8	28,2± 3,6	25,0±1,1	62,6± 8,1	60,8±2,4	83,3± 4,6
33,7± 0,6	49,0± 3,4	65,0±4,7	84,0± 6,3	85,0±2,3	88,5± 3,3
44,4± 1,8	91,1±6,4	114,1±5,2	118,8±3,3	110,9± 1,6	113,5± 2,6
	49,1±1,1	42,3±1,7	45,6±0,5	44,9± 1,8	47,7± 3,3
340,0±12,7	53,6±2,3	65,5±3,7	95,5±4,7	91,7± 3,4	98,5± 1,7
45,0± 1,4	62,7±4,3	81,9±3,1	91,8±4,7	84,7± 7,4	93,5± 3,1
23,8± 1,1	14,5±1,8	64,0±4,3	83,1±3,0	69,8± 4,7	93,6± 2,6
585,6±93,3	42,5±8,0	26,4±5,6	122,2±3,3	83,7±13,3	106,5±16,0
15,2± 1,2	17,2±3,8	16,4±1,2	35,2±2,7	35,3± 4,7	37,8± 3,1
313,3±12,0	35,6±5,1	32,9±1,7	107,1±3,3	103,1± 9,4	125,0± 9,3

düngung.

Teilstücken, die 283,8 dz brachten, während durch Kaliumsulfat und Kalimagnesia Erträge von 334,3 dz und 316,7 dz Kartoffeln erzielt wurden. Im Jahre 1935 war der Ertrag auf den Teilstücken mit NP-Grunddüngung gegen 1930 von 283,8 dz auf 98,9 dz zurückgegangen. Auf den NPK-Teilstücken wurden dagegen mit schwefelsaurem Kali 233,9 dz, mit 40er Kalidüngesalz 243,3 dz und mit Kalimagnesia 291,7 dz Kartoffeln geerntet.

Die unterschiedliche Wirkung der Kalidüngung in Abhängigkeit von der Zeit des Ausstreuens, der Kaliform und der Höhe der Kaligaben sowie von der Witterung und der fortschreitenden Verarmung des Bodens an Kali zeigt, daß wir beim Vergleich der Ergebnisse des Düngungsversuches mit der Bodenuntersuchung gewisse Schwankungen in Kauf nehmen müssen: es hat aber keinen Sinn, diese auszuschalten, da man in der Praxis mit den entsprechenden Verhältnissen zu rechnen hat.

Von dem gesamten Versuchsfelde wurde vor Anlage des Versuches eine Bodenuntersuchung nach der Keimpflanzen-Methode vorgenommen, es ergab sich dabei die Zahl 9,6 mg K_2O. Vom Schlag C 5 wurden die einzelnen Teilstücke getrennt untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigte eine so starke Abweichung von dem Ergebnis der Gesamtprobe, daß sich die Notwendigkeit herausstellte, jedes einzelne Teilstück getrennt zu untersuchen. Die Auswertung der Versuche konnte daher nur auf Schlag C 5 bereits mit den Bodenuntersuchungen vor der Bestellung 1930 durchgeführt werden, für die übrigen Schläge beginnen die Vergleiche erst vom Jahre 1931 an, da hier die Ergebnisse der Bodenuntersuchung von jedem einzelnen Teilstück erst seit diesem Zeitpunkt vorliegen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 2–6 aufgeführt. Gleichzeitig enthalten die Tabellen in den Spalten „Ernteentzug“ die Menge K_2O je ha, um die der Boden nach der Ernte durch den Kalientzug der betreffenden Frucht nach Abzug der gegebenen Düngung verarmt war.

Durch Vergleich der Veränderungen der Neubauerzahlen während des Versuches mit dem Kalientzug durch die Ernten unter Berücksichtigung der gegebenen Düngung sollte festgestellt werden, wie weit Übereinstimmung zwischen dem tatsächlichen Nährstoffentzug und der Änderung des durch die Bodenuntersuchung festgestellten Nährstoffgehaltes des Bodens besteht.

Bei der praktischen Durchführung verursacht dieser Vergleich erhebliche Schwierigkeiten. Es ist unvermeidlich, daß schon infolge der Probenahme bei Wiederholung der Neubaueranalyse an dem gleichen Teilstücke Schwankungen auftreten. Selbst Schwankungen von nur einigen Milligramm reichen aber bereits an die Größenordnung des Nährstoffentzuges durch eine Ernte heran, und man kann daher nicht erwarten, daß man bei der Wiederholung der Untersuchung nach der Ernte die geforderte Übereinstimmung zwischen der Abnahme des Kaligehaltes des Bodens und dem Kalientzug durch die Ernten finden wird. Um

Tabelle 2. Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz (Düngung — Entzug) Schlag C 1.

Düngung	mg K_2O	Entzug durch Mais 1931 kg K_2O	Entzug durch Lupine 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1932 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterroggen 1933 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Lupine 1934 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Futterrüben 1935 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Hafer 1936 kg K_2O	mg K_2O
O	16,7	− 81	− 21	7,9	−171	6,0	− 66	0,4	− 48	2,1	−156	3,5	− 54	3,8
	± 3,3	± 9	± 3	± 5,9	± 6	± 1,2	± 12	± 0,4	± 16	± 2,1	± 6	± 1,3	± 15	± 2,1
NP	14,5	−120	− 15	3,3	−189	4,8	− 84	2,7	− 33	1,0	−165	2,7	− 54	7,0
	± 1,7	± 6	± 3	± 0,9	± 30	± 2,8	± 21	± 2,7	± 12	± 1,5	± 24	± 0,7	± 9	± 3,1
NPK_1	17,7	− 90	− 18	5,6	−147	9,8	− 3	0,6	− 18	2,1	−165	9,4	− 33	6,7
	± 5,6	± 18	± 3	± 0,8	± 39	± 1,1	± 21	± 0,1	+ 3	± 2,8	± 54	± 2,3	± 15	± 4,8
NPK_2	14,5	−111	− 21	6,6	−165	11,8	− 3	0,2	+ 6	3,4	−135	8,7	− 33	8,5
	± 4,8	± 18	± 3	± 1,8	± 24	± 1,4	− 9	± 0,4	± 12	± 4,8	± 90	± 2,6	± 18	± 4,5
NPK_3	21,9	− 72	− 15	3,7	−126	10,4	+ 21	0,6	+ 18	4,5	−117	11,8	− 21	7,2
	± 6,1	± 6	± 3	± 1,0	± 21	± 1,2	± 3	± 0,5	± 15	± 4,9	± 12	± 2,2	± 15	± 3,8

Tabelle 3. Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz (Düngung — Entzug) Schlag C 2.

Düngung	mg K_2O	Entzug durch Zuckerrüben 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterweizen 1932 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1933 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterroggen 1934 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Lupine 1935 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Futterrüben 1936 kg K_2O	mg K_2O
O	8,0	−144	4,4	− 36	2,1	− 63	0	− 78	0,7	− 72	1,0	−120	1,6
	± 1,7	± 33	± 0,4	± 3	± 1,0	± 9	± 0	± 18	± 1,1	± 15	± 0,7	± 33	± 1,8
NP	6,8	−216	5,6	− 57	2,1	− 63	0	− 93	0,7	− 42	0,7	− 69	0,2
	± 2,2	± 24	± 4,1	± 9	± 2,5	± 6	± 0	± 27	± 0,9	± 9	± 0,8	± 6	± 0,3
NPK_1	6,5	−201	9,0	− 12	4,5	− 69	2,1	− 60	1,6	− 27	2,6	−171	1,5
	± 2,4	± 36	± 6,5	± 15	± 3,3	± 6	± 3,0	± 27	± 1,6	± 18	± 1,6	± 51	± 1,5
NPK_2	9,3	−159	6,6	+ 81	4,1	− 27	5,6	− 15	1,9	− 30	5,7	−165	4,1
	± 1,1	± 54	± 2,4	± 9	± 0,6	± 24	± 3,4	± 15	± 1,9	± 21	± 1,1	± 33	± 0,9
NPK_3	10,2	−105	5,7	+177	4,2	+ 18	5,6	− 48	3,2	+ 15	5,9	−156	7,6
	± 1,0	± 63	± 2,5	± 9	± 2,2	± 18	± 4,3	± 3	± 3,5	± 18	± 2,0	± 60	± 3,7

Tabelle 4. Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz (Düngung — Entzug) Schlag C 3.

Düngung	mg K_2O	Entzug durch Lupine 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Steckrüben + Mais 1932 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterweizen 1933 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1934 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterroggen 1935 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Süßlupine 1936 kg K_2O	mg K_2O
O	8,7 ± 1,7	−135 ± 36	9,3 ± 3,0	−246 ± 42	6,9 ± 1,7	− 33 ± 6	1,1 ± 1,2	− 54 ± 15	0 ± 0	− 60 ± 3	0,7 ± 0,7	− 39 ± 9	1,3 ± 0,8
NP	9,8 ± 2,0	−159 ± 24	9,2 ± 2,1	−345 ± 57	7,5 ± 0,5	− 51 ± 6	0,7 ± 0,7	− 78 ± 21	0 ± 0	− 81 ± 9	0,4 ± 0,4	− 36 ± 6	2,3 ± 1,0
NPK_1	9,3 ± 3,0	−108 ± 27	9,5 ± 2,1	−216 ± 27	7,8 ± 0,7	0 ± 6	1,9 ± 0,5	− 33 ± 12	0,5 ± 0,5	− 36 ± 6	2,1 ± 0,6	− 3 ± 12	4,7 ± 1,5
NPK_2	14,0 ± 3,7	−117 ± 48	12,6 ± 2,0	−264 ± 36	9,4 ± 1,9	+ 39 ± 15	2,3 ± 2,0	− 39 ± 45	0,6 ± 0,6	+ 6 ± 12	3,0 ± 0,9	+ 15 ± 12	7,4 ± 2,0
NPK_3	16,1 ± 3,0	− 75 ± 18	14,2 ± 4,9	−213 ± 15	13,3 ± 2,1	+ 96 ± 9	4,7 ± 1,7	− 12 ± 21	3,9 ± 2,2	+ 63 ± 15	5,8 ± 1,8	+ 48 ± 30	9,0 ± 0,3

Tabelle 5. Bodenuntersuchung und Nährstoffbilanz (Düngung — Entzug) Schlag C 4.

Düngung	mg K_2O	Entzug durch Winterweizen 1931 kg K_2O	Entzug durch Lupine 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Lupine 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Zuckerrüben 1933 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterweizen 1934 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1935 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterroggen 1936 kg K_2O	mg K_2O
O	13,1 ± 2,7	− 78 ± 9	− 24 ± 3	3,2 ± 2,3	− 87 ± 9	4,2 ± 2,9	−126 ± 81	1,1 ± 1,1	− 30 ± 9	0,4 ± 0,5	− 51 ± 12	3,4 ± 2,3	− 42 ± 6	3,1 + 2,7
NP	10,0 ± 0,9	− 99 ± 6	− 18 ± 6	2,6 ± 1,3	− 81 ± 6	5,8 ± 1,8	− 51 ± 21	0,1 ± 0,1	− 24 ± 6	0,5 ± 0,7	− 39 ± 6	2,7 ± 0,7	− 51 ± 9	1,1 ± 1,5
NPK_1	17,0 ± 3,2	− 69 ± 15	− 21 ± 3	5,2 ± 2,6	− 48 ± 9	5,9 ± 1,5	+ 39 ± 75	1,0 ± 1,0	+ 45 ± 12	4,2 ± 2,5	+ 36 ± 36	7,0 ± 0,5	+ 3 ± 15	3,6 ± 1,8
NPK_2	18,8 ± 1,9	− 57 ± 9	− 30 ± 6	5,8 ± 2,9	− 51 ± 12	4,6 ± 2,3	+ 57 ± 12	1,6 ± 2,0	+ 33 ± 12	1,7 ± 1,1	+ 30 ± 15	8,2 ± 1,6	+ 6 ± 3	4,1 ± 2,4
NPK_3	17,3 ± 1,3	− 63 ± 18	− 36 ± 9	4,6 ± 2,1	− 57 ± 18	7,5 ± 3,9	+ 6 ± 42	1,8 ± 2,1	+ 36 ± 9	2,2 ± 2,3	− 15 ± 24	6,8 ± 1,9	+ 6 ± 6	3,8 ± 3,8

die großen Linien zu erkennen, haben wir jeweils von den vier gleichgedüngten Teilstücken den Durchschnittswert genommen unter Zusatz des durchschnittlichen Fehlers als Warnungszeichen dafür, daß wir die gefundenen Mittelwerte nicht als hundertprozentig genau betrachten dürfen.

Um Beziehungen zu finden, muß man danach trachten, daß die Schwankungen der Bodenuntersuchungsergebnisse, die man absolut genommen nun einmal nicht verkleinern kann, wenigstens im Verhältnis zum Nährstoffentzug kleiner werden, indem man die Summe des Nährstoffentzuges durch mehrere aufeinanderfolgende Ernten mit den bei Beginn und am Ende dieser Erntejahre festgestellten Neubauerzahlen in Vergleich stellt. Ein Nährstoffentzug von etwa 3—4 Ernten mit 400—600 kg K_2O je ha entspricht einer Abnahme der Neubauerzahl von etwa 13—20 mg; er liegt also oberhalb der Größenordnung der Analysenfehler. Hier ergibt sich aber eine weitere Schwierigkeit aufseiten der Bestimmung des Nährstoffentzuges durch die Ernte. Um den Einfluß der Versuchsbedingungen auf die Werte für den Kalientzug von zufälligen Schwankungen abzulösen, wurde der Durchschnittswert von je vier gleichgedüngten Teilstücken zugrunde gelegt, natürlich unter Zusatz des durchschnittlichen Fehlers, um vor zu weitgehenden Folgerungen bewahrt zu sein. Die den Durchschnittswerten anhaftenden Schwankungen mögen nun verhältnismäßig klein sein bei Betrachtung einer einzigen Ernte, sie summieren sich aber mit jeder folgenden Ernte (Bild 1). Bei unseren Versuchen haben wir festgestellt, daß man den Nährstoffentzug über drei Jahre summieren kann, daß aber vom vierten Jahre ab die Summe der Fehler so groß wird, daß sie an die Größenordnung des Nährstoffentzuges heranreicht. Bei der Betrachtung unserer Versuche legen wir daher in erster Linie die ersten drei bis vier Jahre zugrunde, in deren Verlauf auch die Ergebnisse der Neubaueranalyse bis ungefähr auf den Kaligehalt 0 heruntergegangen sind, wenigstens bei den Teilstücken ohne Kali.

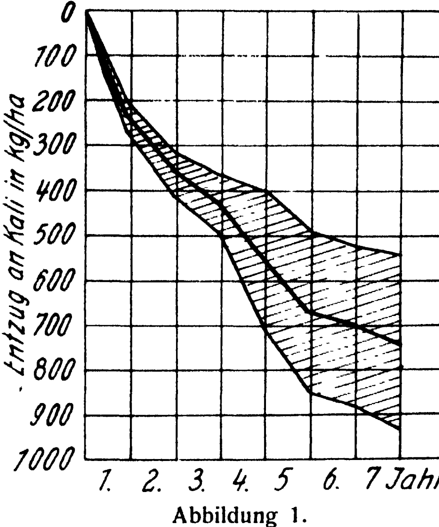


Abbildung 1.
Die zunehmende Schwankungsbreite bei der Bestimmung des Kalientzuges durch die Ernten.

Betrachten wir in Bild 2 zunächst den Verlauf der Kurven für die 0-Teilstücke, so finden wir bei den Teilstücken C 1 und C 2 während der ersten Jahre einen fast vollständig parallelen Verlauf der Kurven für die Abnahme des Kaligehaltes der Böden

Tabelle 6. Bodenuntersuchung und

Düngung	mg K_2O	Entzug durch Winter-roggen 1930 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Lupine 1930 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1931 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winter-roggen 1932 kg K_2O
O	21,0	−114	11,4	−129	4,0	−120	4,3	−66
	±4,3	± 15	±7,7	± 18	± 2,7	± 15	± 1,5	± 15
NP	19,1	−138	7,4	−102	1,7	−117	0,7	−66
	±3,5	± 15	± 1,1	± 12	± 1,3	± 15	± 0,6	± 9
NPK_1	14,5	+ 12	8,8	−135	4,3	−144	5,9	−21
	±5,7	± 18	± 0,7	± 6	±0,5	± 33	± 1,5	± 12
NPK_2	16,7	+ 39	8,8	−123	3,9	−112	4,8	− 6
	±2,2	± 6	±4,0	± 12	±1,8	± 6	± 1,7	±21
NPK_3	13,9	+ 24	8,5	−141	4,1	−126	5,0	−15
	±6,9	± 12	± 1,5	± 21	± 2,3	± 12	± 2,0	± 18

nach Neubauer in Milligramm und für den Kalientzug durch die Ernten. Es muß hier betont werden, daß in den Kurven Mittelwerte eingetragen sind, die mit Schwankungen behaftet sind, und daß also einzelne scheinbare Unstimmigkeiten sich aus diesen Schwankungen erklären. Bei C 3 weist z. B. die Kurve für den Kaligehalt im ersten Jahr einen Anstieg auf von 8,7 auf 9,3. Offensichtlich liegt hier ein Fehler vor, und nach dem Verlauf der Kalientzugskurve sollte man annehmen, daß wahrscheinlich bei Beginn des Versuches der Kaligehalt des Bodens höher lag als der von uns berechnete Mittelwert. Mit derartigen Abweichungen muß man rechnen, denn die Neubauerzahl ist in diesem Falle bei Beginn des Versuches 8,7 ± 1,7. Bei C 4 entsprechen zwar Anfangswert und Wert nach drei Jahren des Kaligehaltes der Böden der Kaliabnahme, die auf Grund des Kalientzuges zu erwarten war. Die Kurve der Analysenwerte weist jedoch in der Zwischenzeit einen Knick auf; auch hier sind die Schwankungen der Analyse mit 3,2 ± 2,3 nach der ersten Ernte und 4,2 ± 2,9 nach der zweiten Ernte von einer solchen Größenordnung, daß man dieser Unregelmäßigkeit keine reale Bedeutung beimessen kann. Auch bei C 5 tritt ein vorübergehendes Ansteigen in den Analysenwerten nach der zweiten Ernte auf; hier ist offensichtlich der Wert nach der ersten Ernte ungenau, wie der große Fehler dieses Wertes, nämlich 7,9 ± 5,9 zeigt.

Wenden wir uns den Werten der NP-Teilstücke zu, so sehen wir, daß hier eine ähnliche Übereinstimmung herrscht. Der bei C 1 nach dem ersten Jahre auftretende Knick liegt innerhalb der Fehlergrenze, desgleichen der bei C 4 auftretende Anstieg der nach der zweiten Ernte genommenen gegenüber der nach der ersten Ernte genommenen Probe. Betrachten wir allerdings den Gesamtverlauf der Kurven, so sehen wir, daß die NP-Kurven für den Kalientzug etwas stärker abfallen als die

Nährstoffbilanz (Düngung—Entzug) Schlag C 5.

mg K_2O	Entzug durch Lupine 1933 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Futterrüben 1934 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Winterweizen 1935 kg K_2O	mg K_2O	Entzug durch Kartoffeln 1936 kg K_2O	mg K_2O
0	−135	0,5	−111	6,5	−18	3,4	−51	5,8
± 0	± 39	± 0,5	± 75	± 3,9	± 9	± 1,3	± 21	± 4,0
0,2	− 81	0,5	− 48	1,7	−12	0,0	−36	6,5
± 0,2	± 9	± 0,4	± 24	± 1,7	± 3	± 0,0	± 3	± 2,3
0,1	− 75	0,8	−198	3,8	+60	2,1	−36	9,1
± 0,1	± 24	± 0,8	± 36	± 3,8	± 6	± 1,3	± 27	± 1,8
0,1	− 72	1,3	− 69	10,2	+57	3,2	−36	6,8
± 0,1	± 15	± 1,0	± 111	± 2,3	± 9	± 1,6	± 24	± 3,2
0,7	−108	1,1	−117	8,4	+57	3,9	−57	6,0
± 0,7	± 9	± 1,1	± 78	± 6,7	± 6	± 1,3	± 45	± 3,1

Kurven für die Ergebnisse der Bodenuntersuchung. Es würde dies bedeuten, daß bei der einseitigen NP-Düngung die Pflanze in der Lage war, dem Boden in etwas höherem Maße Kali zu entziehen als bei den ungedüngten Teilstücken. Man könnte sich dies vielleicht so erklären, daß die mit NP gedüngten Pflanzen in höherem Maße in der Lage waren, Kali aus dem Untergrunde heraufzuholen als die Pflanzen der 0-Teilstücke. Um eine genauere Übereinstimmung zu erzielen, hätte man hier nicht wie bei den O-Teilstücken 1 mg $K_2O = 30$ kg setzen dürfen, sondern etwa 1 mg = 38 kg.

Bei allen kalifreien Teilstücken findet nun ein weiterer Kalientzug durch die Ernten statt, auch nachdem der Kaligehalt des Bodens bis auf 0 heruntergegangen ist. Dies erfolgt allerdings in einem für ein volles Wachstum unzureichenden Maße, denn die Ernten waren in diesen Jahren gänzlich unbefriedigend. Die Erklärung ist vielleicht darin zu suchen, daß der Kaligehalt des Untergrundes, der bei der Bodenuntersuchung nicht berücksichtigt ist, nunmehr eine Rolle spielt, oder daß die Pflanze durch Ausbildung sogenannter Hungerwurzeln mineralisches Kali aufschließt. In diesem Stadium ist der Boden aber sicherlich nicht mehr als normal zu bezeichnen und kann für eine Methodenprüfung nicht mehr als maßgebend betrachtet werden. Merkwürdig ist das in den letzten Versuchsjahren beobachtete Wiederaufsteigen des Kaligehaltes der Böden. Es mag sein, daß es durch methodische Fehler zu erklären ist, die gerade bei Neubauerwerten in der Nähe von 0 mg besonders ins Gewicht fallen; indessen kehrt es auf sämtlichen O- und NP-Teilstücken mit einer solchen Regelmäßigkeit wieder, daß es schwer ist, an eine Reihe von Zufälligkeiten zu glauben. Vielleicht spielt die Witterung hier eine Rolle.

Bei den mit Kali gedüngten Teilstücken wird der Vergleich

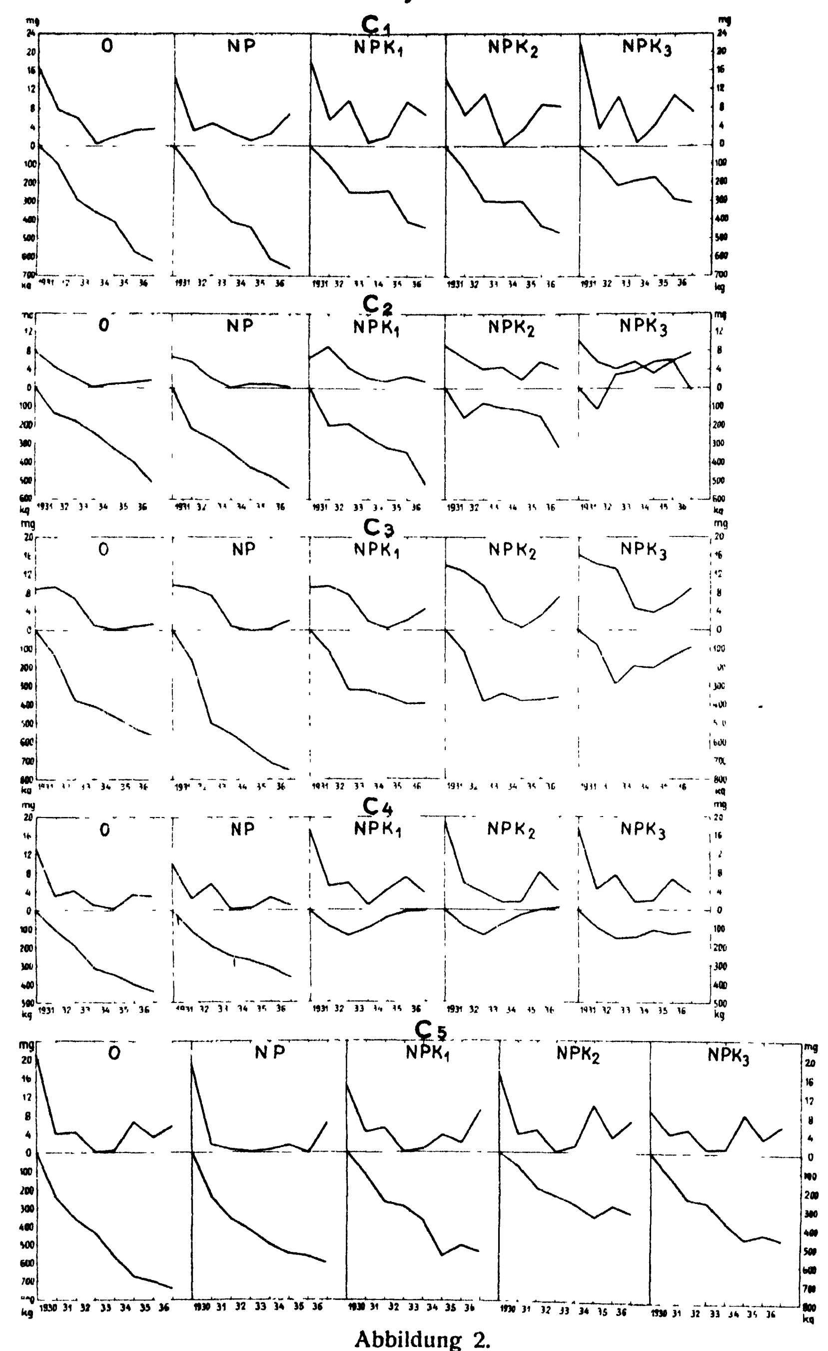


Abbildung 2.

Die Änderungen des bei der Bodenuntersuchung festgestellten Kaligehaltes im Vergleiche zum Kalientzug durch die Ernten und der Kalizufuhr durch die Düngung.

zwischen Bodenuntersuchung und Kalientzug dadurch schwieriger, daß die Entnahme gleichmäßiger Bodenproben auf den gedüngten Teilstücken erschwert ist.

Nach den Untersuchungen von Kertscher muß man damit rechnen, daß infolge der Düngung nicht nur Ungleichheiten des Kaligehaltes in horizontaler, sondern infolge Adsorption durch die Bodenkolloide auch in vertikaler Richtung auftreten. Es brauchten aber nur zufällig in einer Probe von 100 g einige durch Kalidüngung infolge Adsorption angereicherte Bodenkrümel mehr enthalten zu sein, um sofort den Kaligehalt der betreffenden Probe um einige Milligramm sich verändern zu lassen.

Verfolgen wir auf den gedüngten Teilstücken den Verlauf der Kurven für Kaligehalt des Bodens und Kalientzug durch die Ernten, so finden wir daher keine volle Übereinstimmung mehr. Immerhin erkennen wir aber aus dem allgemeinen Verlauf der Kurven die Tendenz, daß die Veränderungen des Kaligehaltes des Bodens doch in Beziehung zu der Bilanz von Kalientzug durch die Ernten und Kalizufuhr durch die Düngung stehen, daß eine auf Grund dieser Bilanz zu erwartende Zunahme, wenn wir einen Zeitraum von mehreren Jahren ins Auge fassen, einer Zunahme des Kaligehaltes des Bodens entspricht und umgekehrt.

Bei den Kurven C 1 sind die Kaligaben K_1, K_2 und K_3 der Menge nach gleich gewesen, nur die Zeit ihrer Anwendung war verschieden. Der Kalientzug zeigt bei diesen Düngungen einen ähnlichen Verlauf. Von der zweiten Ernte ab gleichen sich Kalientzug und Düngung aus bis nach der vierten Ernte, bei den letzten beiden Ernten tritt dann wieder ein Überwiegen des Kalientzuges auf. Die Analysenkurven zeigen stets folgenden Verlauf: nach der zweiten Ernte ist eine Anreicherung festzustellen, nach der dritten Ernte ist, obgleich der Kalientzug durch die Düngung ausgeglichen wurde, eine Verarmung des Bodens eingetreten, nach der vierten Ernte tritt eine Erhöhung des Kaligehaltes ein, der zum Teil in der Entzugskurve eine Anreicherung des Bodens durch die Düngung entspricht. Diese Anreicherung setzt sich fort auch nach der fünften Ernte, obgleich in diesem Falle nach der Bodenanalyse eine Verarmung des Bodens eintrat, um dann wieder einer Abnahme des Kaligehaltes Platz zu machen. Der aufsteigende Ast der Kurve für die Analysen ist viel stärker ausgeprägt als der entsprechende aufsteigende Teil der Entzugskurve, außerdem hinkt er ein Jahr hinterher. Die Übereinstimmung ist hier also wesentlich weniger deutlich als bei den kalifreien Teilstücken: wenn man aber bedenkt, daß hier sowohl die Kalibestimmung im Boden, wie auch die Ausnutzung der Kalidüngung durch die angebauten Früchte größere Schwankungen bedingen, so ist doch wenigstens die allgemeine Tendenz dieser Kurven deutlich verschieden von den Kurven der kalifreien Teilstücke; vor allem spiegelt sich im Gesamtverlauf der Kurve für die Neubauerwerte die geringere Kalientnahme auf den mit Kali gedüngten Teilstücken wider.

Bei den Schlägen C 2 und C 3 stellen K_1, K_2 und K_3 steigende Mengen von Kali dar. Die Kalientzugskurven zeigen, daß die

niedrige Kaligabe K_1 bei weitem nicht ausgereicht hat, um den Ernteentzug zu decken; wir finden dementsprechend eine Abnahme der Analysenzahlen. Bei K_2 von C 3 findet vom dritten Jahre ab kein Kalientzug mehr statt. Die Analysenzahlen von K_2 zeigen bei C 2 die Verlangsamung des Entzuges durch ihren nur ganz geringen Abfall, bei C 3 steigen sie in den letzten Jahren sogar wieder an. Bei K_3 war die Kalidüngung auf dem Teilstücke C 2 so reichlich bemessen, daß bilanzmäßig sich eine Anreicherung des Bodens ergibt. Dieser Anreicherung entspricht in den Analysenzahlen das Wiederansteigen des Kaligehaltes nach anfänglicher schwacher Senkung. Bei C 3 zeigen die Analysenzahlen der Teilstücke K_3 einen ähnlichen Verlauf wie die Entzugszahlen, sie hinken allerdings etwas nach.

Bei den Teilstücken C 4 und C 5 sind die Kalimengen K_1, K_2 und K_3 wiederum gleich. Die Entzugszahlen zeigen bei C 4 nach anfänglichem Senken einen Wiederaufstieg, die Analysenkurven zeigen ein ähnliches Bild, hinken aber nach. Bei C 5 weisen die Entzugszahlen auf eine nur gelegentlich unterbrochene Abnahme des Kaligehaltes während der ganzen Versuchsdauer hin. Die Analysenzahlen gehen dem Kalientzug entsprechend zunächst bis auf 0 herunter und zeigen dann einen unregelmäßigen Verlauf. Immerhin führt das in den letzten Jahren stattfindende Aufhören des Kalientzuges, bzw. die Wiederanreicherung des Bodens durch die Düngung auch zu einer ansteigenden Tendenz der Kurve für die Neubauerzahlen.

Bei sämtlichen Kurven der mit Kali gedüngten Teilstücke können wir also feststellen, daß ein Gleichbleiben oder Wiederansteigen des Kaligehaltes des Bodens erfolgt, wenn der Kalientzug der Ernten durch die Kalidüngung ausgeglichen oder sogar übertroffen wird. Besonders gut ist dies bei den Schlägen C 3 und C 4 zu beobachten.

Zusammenfassung.

Auf den Teilstücken, die ohne Kalidüngung geblieben waren, lassen die Neubauerzahlen eine Abnahme des Kaligehaltes der Böden erkennen, die dem Kalientzuge durch die Ernten entspricht. Es erwies sich hier wenigstens solange möglich, eine Nährstoffbilanz auf Grund der Neubauerzahlen aufzustellen, als noch einigermaßen normale Ernten erzielt wurden. Nachdem der Kaligehalt des Bodens nach Neubauer bis auf 0 mg gesunken war, waren die Pflanzen zwar auch noch in der Lage, weiterhin gewisse Kalimengen aus dem Boden aufzunehmen; ihr Wachstum war aber unter diesen Verhältnissen nicht mehr normal, wie die geringen Erträge und deutlichen Kalimangelerscheinungen zeigten.

Bei den mit Kali gedüngten Teilstücken war eine quantitative Übereinstimmung nicht festzustellen, da hier die Schwankungen der Versuchsergebnisse im Verhältnis zu dem theoretisch zu erwartenden Verlauf der Kurven für Kaligehalt und Kalientzug zu groß waren. Qualitativ zeigte sich aber auch hier ein entsprechen-

der Verlauf von Kalientzug durch die Ernten und Neubauerzahlen. So hörten die Neubauerzahlen auf zu fallen, bzw. sie stiegen wieder an, wenn die Kalizufuhr durch die Düngung den Kalientzug durch die Ernten deckte oder übertraf.

Damit ist, soweit dies die mit einer solchen Untersuchung unvermeidlicherweise verknüpften Fehlerquellen erlauben, das für die grundsätzliche Richtigkeit der Neubauermethode aufgestellte Kriterium erfüllt. Der Landwirt hat somit in der Bodenuntersuchung nach der Neubauermethode ein Mittel, um den Düngezustand seines Bodens zu kontrollieren. Allerdings ist es nicht möglich, auf Grund einer einmaligen Bodenuntersuchung rein bilanzmäßig den Kaligehalt des Bodens bei gegebener Düngung und bestimmten Ernteerträgen für eine Reihe von Jahren vorauszusagen, da sowohl die Ermittlung des Kaligehalts des Bodens, wie auch die Berechnung des Kalientzuges durch die Ernten mit zu großen Unsicherheiten behaftet ist. Es ist daher nicht möglich, den natürlichen Kaligehalt des Bodens so lange auszunutzen, bis er auf einen bestimmten Grenzwert herabgesunken ist; das Risiko einer Verschlechterung des Bodens unter diesen Gehalt würde größer sein als der Vorteil der vorübergehenden Einsparung an Dünger. Im Interesse der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit geht man sicherer, wenn man sets eine Ersatzdüngung gibt und durch Wiederholung der Bodenuntersuchung nach etwa drei Jahren feststellt, ob und wie sich der Nährstoffgehalt des Bodens verändert hat. [257]

Über eine neue Bodenmühle.

Von **R. Balks.**

Mitteilung aus der Landw. Untersuchungs- u. Forschungsanstalt Braunschweig.

Mit 2 Abbildungen.

Eingegangen: 18. November 1938.

In den letzten Jahren ist allgemein mit besonderem Nachdruck an der Vereinfachung der Bodenuntersuchungsmethoden gearbeitet worden. Diese Bestrebungen, die in erster Linie auf chemisch-analytischem Gebiet lagen, haben in der kolorimetrischen Bestimmung der Phosphorsäure durch lichtelektrische Geräte und in jüngster Zeit durch Schaffung der flammenphotometrischen Methode zur quantitativen Ermittlung des Kaliums große Erfolge gehabt. Es sind damit die Voraussetzungen erfüllt, um in nächster Zukunft Bodenuntersuchungen auf ihren Nährstoffgehalt in weit größerem Umfange als bisher durchzuführen.

Dieser Übergang zur Massenuntersuchung erfordert aber gleichzeitig gebieterisch eine Vereinfachung aller Arbeitsvorgänge, die mit der Vorbereitung der Bodenproben zur Untersuchung im Zusammenhang stehen. Die Gewinnung des Feinbodens spielt dabei die Hauptrolle.

Zur Vereinfachung dieser ziemlich mühsamen und zeitraubenden Arbeit ist im letzten Jahre in der hiesigen Anstalt durch den Versuchstechniker E. Möhrling eine Bodenmühle entwickelt worden, über deren Arbeitsweise nachstehend berichtet werden soll. Die Aufgabe, die bei einer solchen Bodenmühle zu

lösen war, bestand in der Schaffung einer Konstruktion, die in einem Arbeitsgang vorhandene Steine automatisch ausscheidet und den eigentlichen Boden auf eine unter 2 mm Durchmesser liegende Korngröße zerkleinert. Die Möhrlingsche Mühle, die diese beiden Forderungen erfüllt, arbeitet nach folgendem Prinzip: In der Mühle, die in den Abbildungen 1 und 2 wiedergegeben ist, befindet sich eine Mahltrommel, (auf der Abbildung 2 rechts) die mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 700 bis 800 Umdrehungen pro Minute von einem 1-PS-Motor angetrieben wird. Die Oberfläche dieser Walze besteht aus einer Anzahl aus-

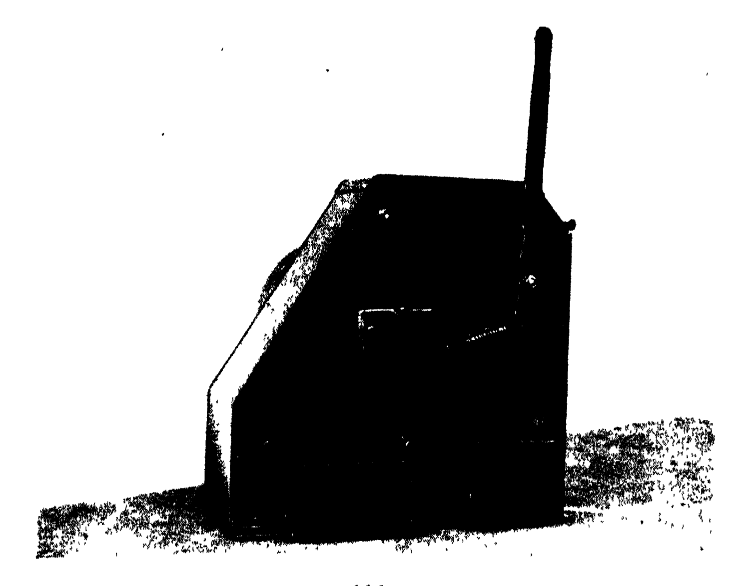


Abb. 1.

wechselbarer Stahlplatten, die mit etwa 5 mm tiefen Rillen versehen sind. Die erhabenen Teile sind durch eine Anzahl Aussparungen unterbrochen, um den Mahleffekt zu verstärken. Diese Hauptwalze arbeitet gegen ein federnd angebrachtes Vormahlsegment mit gleicher Oberfläche (Abbildung 2, links). Beim Auftreffen von Steinen oder etwaigen anderen Fremdkörpern gleicher Härte führt dieses Segment infolge seiner elastischen Anbringung eine Drehbewegung aus, die die unerwünschten Bestandteile aus dem Mahlvorgang ausscheidet und in einen besonderen Schubkasten fallen läßt. (Abbildung 1 rechts.)

Unterhalb der umlaufenden Hauptwalze befindet sich das Mahlsegment, dessen Oberfläche die gleiche Art von Rillen aufweist. Es ist gegen die Mahltrommel so (verstellbar) angeordnet, daß der Boden dort auf eine Korngröße von mindestens 2 mm Durchmesser zerkleinert wird. Der hier entstandene Feinboden fällt in den auf der linken Seite der Mühle angeordneten Schubkasten.

Die Abbildung 2 vermittelt einen Einblick in das Walzensystem der Mühle. Um Einzelheiten besser erkennen zu können, ist bei dieser Aufnahme der Einfülltrichter abgenommen worden. Das unter Federspannung stehende Vormahlsegment ist mit einem Hebel versehen, der von Hand betätigt werden kann, um etwaige durch zufällig vorhandene unförmige Steine oder sonstige Fremdkörper auftretende Hemmungen leicht zu beseitigen. Gleichzeitig ist mit dieser Einrichtung noch die Möglichkeit gegeben, bei besonders zähen und harten Tonböden durch gefühlsmäßige Hin- und Herbewegung des Hebels den Angriff der Mahlflächen auf den Boden zu erleichtern und den Mahlvorgang zu beschleunigen.

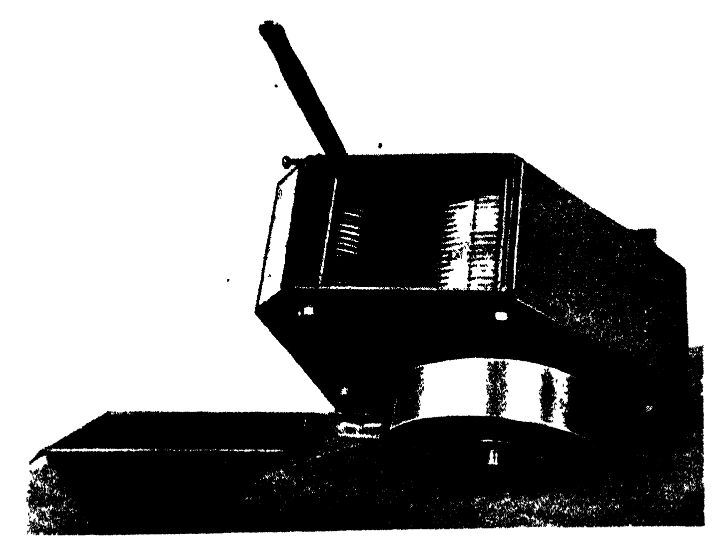


Abb. 2.

Zur Vorbereitung eines Bodens für die Untersuchung wird die lufttrockene Probe durch den Einfülltrichter auf die Mühle gegeben. Bei Anwendung der üblichen Menge von einem Kilogramm ist die Mahlung der Bodenprobe in etwa einer Minute erledigt. Die Feinerde wird dem linken Schubkasten der Mühle entnommen, während vorhandene Steine sich in dem rechten Schubkasten gesammelt vorfinden. Sind in der Feinerde etwa Reste von Wurzeln, Strohteilchen und dergleichen, so wird die Probe zur Entfernung dieser Beimischungen noch durch ein 2-mm-Sieb gegeben. Neuerdings wird die Mühle mit einem von der Hauptwelle aus angetriebenen Schüttelsieb hergestellt, wodurch ein besonderes Absieben des Feinbodens von Hand in jedem Falle überflüssig wird. An der eigentlichen Mühlenkonstruktion ist dadurch jedoch grundsätzlich nichts geändert.

Bei dem serienmäßigen Verarbeiten von Bodenproben ist es erforderlich, vor dem Mahlen einer neuen Probe die von der

vorhergehenden Probe verbliebenen geringen Rückstände in der Mühle zu beseitigen. Das geschieht in einfacher Weise, indem von dem neuen Boden eine Handvoll durch die Mühle gegeben wird. Das dabei entstandene Mahlprodukt wird weggeschüttet. Nunmehr kann die neue Probe ohne Gefahr einer Vermischung mit Resten der vorhergehenden gemahlen werden.

Die beschriebene Mühle, die bis zu ihrer jetzigen Form verschiedene Wandlungen durchgemacht hat, ist uns bereits im vorigen Jahre und auch in diesem in der Bodenuntersuchung eine außerordentliche Hilfe gewesen. Die Verdoppelung der Bodenuntersuchungen, die in der hiesigen Anstalt im Jahre 1937/38 gegenüber dem Vorjahr eintrat, bewirkte eine plötzliche starke Zunahme der Vorbereitungsarbeiten, deren reibungslose Bewältigung wir mit in erster Linie der Anwendung der Bodenmühle verdanken.

Beim Mahlen der lufttrocknen Bodenproben durch die mit ziemlich hoher Geschwindigkeit laufende Mühle ist naturgemäß eine gewisse Staubentwicklung nicht zu vermeiden. Aus diesem Grunde haben wir den Arbeitsplatz, an dem die Böden verarbeitet werden, gleichzeitig mit einer Absaugevorrichtung versehen. Durch einen kräftigen Ventilator wird der auftretende Staub sofort restlos abgesaugt und ins Freie geleitet. Durch die Anwendung der Bodenmühle in Verbindung mit dieser Absaugevorrichtung ist es nunmehr möglich, die sonst so umständliche und zeitraubende Vorbereitung der Böden für die analytische Untersuchung fast spielend und ohne Belästigung durch Staub zu erledigen. [256]

Neue Laboratoriumsapparate zur Bodenuntersuchung*).

Von **J. Schnell.**

Aus der Bodenuntersuchungsanstalt der Landesbauernschaft Bayern.

Eingegangen: 5. August 1938.

Der nun vollendete Ausbau der Bodenuntersuchungsanstalt der Landesbauernschaft Bayern gab mir Gelegenheit, schon längst gefaßte Pläne in die Wirklichkeit zu übersetzen. Hilfreich stand mir dabei — so absurd dies auch klingen mag — die Begrenzung der zur Verfügung stehenden Mittel zur Seite, die mich zwang, die entwickelten Apparate auf die einfachste und am meisten Platz sparende Weise zusammenzubauen.

Die nun fertigen Geräte erwiesen in ihrer monatelangen Prüfung ihre Brauchbarkeit und einfache Handhabung.

Aus diesem Grunde fühle ich mich verpfichtet, sie der Offentlichkeit bekanntzugeben.

1. Bodenzerkleinerungs- und Siebmaschine nach Schnell. DRGM.

Diese Maschine wurde entwickelt, um die zeitraubende und stark stäubende (Verunreinigung von anderen im Raum vorhandenen Bodenproben) Vorbereitung der Bodenproben im Handbetrieb durch eine schneller und ohne Stauben arbeitende Maschine zu ersetzen.

---

*) Den Vertrieb der beschriebenen Apparate übernahm die Firma F. u. M. Lautenschläger, München, Lindwurmstraße 29/31.

Leistungsfähigkeit der Maschine. An unserer Anstalt werden nach Neubauer die Bodenproben zuerst durch ein 2-mm-Sieb und dann noch durch ein 1-mm-Sieb gesiebt; die 2-mm- und 1-mm-Anteile werden jedoch wieder miteinander vermischt. Die Siebung auf 1 mm erfolgt, um genau zu erkennen, ob der Boden auch vollständig durchgetrocknet ist.

Nach den Erfahrungen von Neubauer, welche wir nur bestätigen können, verschmiert nämlich ein nicht vollständig trockener Boden die Öffnungen eines 1-mm-Siebes. Auf diese zweimalige Siebung des Bodens wurde natürlich bei der Konstruktion der Siebmaschine Rücksicht genommen, damit sie in einem Arbeitsgang erfolgen kann.

Über die Arbeitsleistung der Maschine sagt folgendes Beispiel am meisten aus: 1 kg schweren, verbackenen Lehmbodens, welcher früher zur Aussiebung auf 2 und 1 mm mit der Hand mindestens eine einstündige anstrengende und unangenehme Arbeit beanspruchte, wird mit der Maschine in knapp sieben Minuten staubfrei gesiebt, währenddessen jedoch die Person, welche die Maschine bedient, schon den anderen Siebsatz der Maschine für einen anderen Boden vorbereiten und in Gang setzen kann! Leichtere Böden erfordern natürlich einen viel kürzeren Arbeitsgang (bis zu einem Viertel der Zeit). Die für eine Bodenprobe notwendige Arbeitszeit kann daher auf die Hälfte veranschlagt werden.

Beschreibung der Maschine. Wie aus der Abbildung 1 hervorgeht, besteht die Apparatur aus zwei getrennt voneinander arbeitenden Siebmaschinen, die durch einen Motor über eine Riemenscheibenkupplung angetrieben werden. Die beiden Siebsätze sind durch einen einfachen Bügelverschluß auf dem Schüttelgestell festgemacht.

Jeder Siebsatz besteht aus

a) dem Deckel gegen das Stauben,
b) zwei rechteckigen Siebkästen, auf welchen die Siebe aufgesteckt sind,
c) einem 2-mm-Vierkantstahldrahtsieb für den oberen Siebkasten,
d) einem 1-mm-Vierkantstahldrahtsieb für den unteren Siebkasten,
e) zwei Paar Stahlwalzen, welche je auf einem Sieb im Kasten lose liegen und durch ihren Zusammenprall bei der Schüttelbewegung des Kastens das Siebgut zerkleinern (durch ein entsprechendes Gewicht dieser Walzen wird vermieden, daß die steinigen Bodenanteile zertrümmert werden!),
f) dem Auffanggefäß.

Beschreibung des Arbeitsvorganges. Der Boden wird in getrocknetem Zustand ohne irgendwelche vorhergehende Zerkleinerung in den oberen Siebkasten eingefüllt und die Maschine in Bewegung gesetzt. Das Ende des Siebprozesses ist leicht an dem Geräusch zu erkennen. Sodann wird die Maschine abgestellt und die Bodenanteile, welche sich über dem 1-mm-Sieb und im Auffanggefäß befinden (Fraktionen unter 2 mm Korngröße = Feinerde) werden miteinander vermischt und abgefüllt.

Die nun folgende Vorbereitung, d. h. Reinigung der Maschine für die nachste Siebung, wird durch die abnehmbaren Vierkantsiebe wesentlich erleichtert und beschleunigt. Die aufgesteckten Vierkantsiebe sind ohne weiteres abzunehmen und mit einer Stahldrahtbürste mit wenigen Strichen von Bodenteilen, welche noch in den Maschen hängen, zu säubern, die oben und unten offenen Siebkästen werden nur durch kurzes Aufschlagen von etwa daranhaftendem Staub gereinigt. Die Siebe werden dann wieder auf die Kästen

gesteckt, die Walzenpaare auf die Siebe gelegt und die Kästen aufeinandergestellt und der Apparat ist zur nächsten Siebung bereit.

Wie aus der Beschreibung hervorgeht, wurde bei der Konstruktion auf eine leichte Reinigungsmöglichkeit gesehen. Denn diese unerläßliche Arbeit bestimmt bei dem sehr schnellen Siebungsprozeß allein die Leistungsfähigkeit einer Maschine.

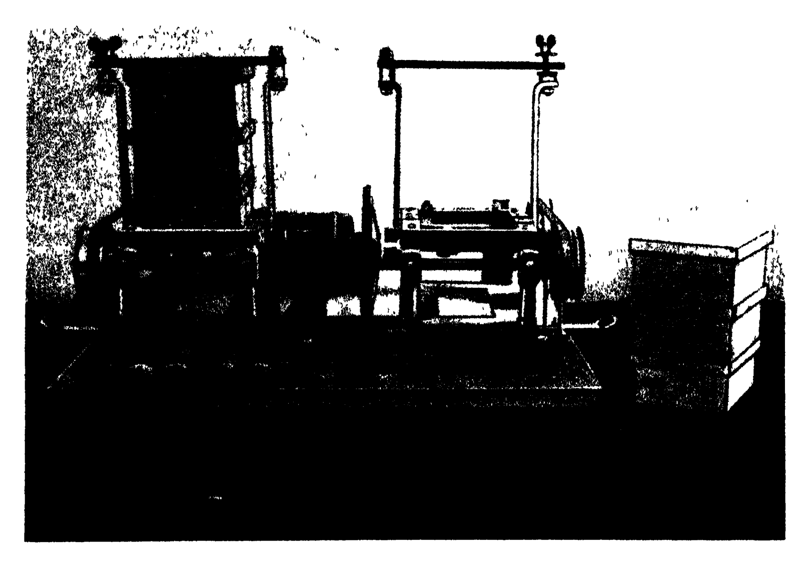


Abb. 1. Bodenzerkleinerungs- und Siebmaschine nach Schnell.

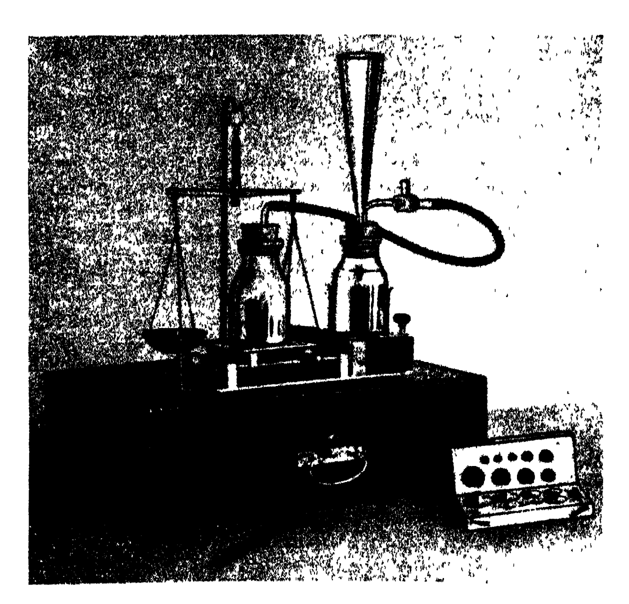


Abb. 2. Kalkbestimmungsgerät nach Schnell, aufgebaut.

II. Kalkbestimmungsgerät nach Schnell. DRGM.

Der Apparat wurde mit der Zielsetzung entwickelt, ein möglichst handliches Gerät zur Kalkbestimmung im Außendienst zu erhalten.

In seinen Glasteilen stellt es eine Weiterentwicklung des von Hock verbesserten Wolffschen Kalkbestimmungsgerätes dar. Neu ist außerdem noch die Unterbringung eines derartigen Gerätes in einem Koffer, welcher zugleich als Arbeitstisch verwendet werden kann. Besonders zu erwähnen wäre, daß mit diesem Gerät Böden vom geringsten bis höchsten Kalkgehalt mit gleicher Genauigkeit geprüft werden können (Gegensatz zu den meisten anderen Kalkmessern, welche zur Bestimmung von niedrigen Kalkgehalten andere Apparate oder Apparatteile benützen, als für hohe).

Beschreibung des Gerätes und dessen Arbeitsweise. Die Arbeitsweise des Gerätes entspricht der chemisch-theoretischen Grundlage, daß die aus einer kalkhaltigen Substanz (Boden, Mergel, Düngemittel usw.) frei gemachte Kohlensäuremenge in einem gewissen Verhältnis zum Kalkgehalt der Substanz steht.

Es wird daher eine bestimmte Menge der zu untersuchenden Substanz in das flaschenförmige Reaktionsgefäß gegeben. Der Gummistopfen desselben trägt den Behälter für die Säure (Salzsäure), die man auf die Substanz einwirken läßt. Außerdem geht durch eine zweite Bohrung des Gummistopfens das Gasableitungsrohr, welches in seinem im Reaktionsgefäß befindlichen Ende als Tropfenfänger geformt ist. Diese Trennung von Gasableitungsrohr und Säurebehälter machte sich gegenüber der Hockschen Anordnung notwendig, da bei der Zusammenlegung dieser beiden Stücke verhältnismäßig leicht feinst verteilte Salzsäure in die Vorlageflüssigkeit übergehen kann und diese mit der Zeit zu stark verunreinigt wird. Diese Vorlageflüssigkeit (konzentrierte Kochsalzlösung) soll aber in einer für den Außendienst geeigneten Apparatur stets vorhanden und möglichst lange brauchbar sein, da ihre Herstellung, wenn auch nicht gerade umständlich, so doch immerhin unangenehm ist. Das Gerät trägt diesem durch die obige Anordnung und durch die Mitführung der Vorlageflüssigkeit in dem mit einem Gummistopfen verschlossenen Auffanggefäß Rechnung. Die entwickelte Gasmenge wird mittels eines Gummischlauches über einen Dreiweghahn vom Reaktionsgefäß zum Gasauffanggefaß geleitet. Der Dreiweghahn ist zum möglichst einfachen und sicheren Ablassen zu großer Kohlensauremengen (welche schon gemessen wurden) eingeschaltet. Der bis jetzt an Stelle des Dreiweghahnes verwendete kurze Gummischlauch mit Quetschhahn ist in der Handhabung unpraktisch und gibt oft zu Undichtheiten der Apparatur Anlaß. Der Dreiweghahn geht durch den Verschlußstopfen des Gasauffanggefäßes, welcher außerdem noch das Meßrohr trägt. Dieses Meßrohr erlaubt infolge seiner konischen Ausformung die Messung großer wie kleiner Gasmengen (entspr. Kalkmengen) mit derselben Genauigkeit, erübrigt also die Verwendung von verschiedenen Geräten für höhere oder niedrigere Kalkgehalte der Substanz (Passon, Hock-Wolff usw.). Mit den beiliegenden Tabellen ist eine schnelle Auswertung der Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung des Kalkgehaltes der Substanz möglich.

Die bis jetzt geschilderte Anordnung ist geeignet, jede jetzt schon vorhandene Kalkbestimmungsapparatur nach Hock-Wolff (wie sie hauptsächlich in Laboratorien in mehrfacher Wiederholung zu einem Seriengerät zusammengestellt ist) zweckmäßig zu verbessern.

---

[1]) Reaktions- und Gasauffanggefäß sind gleichartige Flaschen aus sehr starkem Glas.

Die Verwendung einer einfachen Schüttelvorrichtung und die Unterbringung des ganzen Gerätes samt Zubehör (Waage, Gewichte, Hornlöffel und Tabellen[2]) in einem kleinen Koffer (45 × 28 × 14 cm) wurde besonders für die Bedürfnisse des Außendienstes vorgenommen.

Die Schüttelvorrichtung soll dem Untersuchenden vermeiden helfen, daß er bei der Prüfung das Reaktionsgefäß berühren muß, wodurch eine Erwärmung des entwickelten Gases (CO_2) und somit eine Ungenauigkeit bei der Untersuchung hervorgerufen werden würde. Diese Schüttelvorrichtung wird mit zwei Flügelschrauben auf dem Kofferdeckel befestigt, so daß sie einen festen Stand hat. Außerdem kann noch das Stativ für die Waage in den Kofferdeckel eingelassen werden.

III. Kombinierter Schütteltisch nach Schnell. DRGM.

Eine Neuerung stellt dieser Apparat für bodenkundliche Laboratorien dadurch dar, daß durch seine Anwendung mit einer wenig Platz beanspruchenden Apparatur zugleich Kalkbestimmungen (nach der Kohlensäureentwicklungsmethode) und die Aufschlämmungen für die Bodenaziditätsbestimmungen gemacht werden können.

Beschreibung des Apparates. Der kombinierte Schütteltisch besteht aus zwei getrennten, aber von einem Motor angetriebenen Schütteltischen. Jeder Schütteltisch kann durch eine Klauenkupplung unabhängig von dem anderen in Bewegung gesetzt werden. Die Geschwindigkeit jeden Tisches ist durch die Verwendung von Antriebsrädern mit mehreren Radkränzen einzeln einstellbar. Außerdem ist auch noch die Geschwindigkeit des Antriebmotors durch einen Schiebewiderstand regulierbar.

Der eine Tisch vollbringt eine langsame und geradlinige Bewegung (auf nicht rostenden Gleitschienen) für Vorsicht erheischende Schüttelungen. Auf seiner Plattform finden bis zu zwölf Stück 250-ccm-Flaschen (oder eine entsprechende Anzahl größerer oder kleinerer Behälter) Platz.

Der andere Tisch macht eine schnelle und kreisförmige Bewegung. Er dient für die besonders intensive Durchmischung von Flüssigkeiten oder Suspensionen.

Anwendung des Apparates in der Bodenuntersuchung. Auf dem langsam bewegten Tisch finden die Reaktions-(Kohlensäureentwicklung-)Flaschen für den verbesserten Kalkbestimmungsapparat nach Wolff Aufstellung, auf dem anderen kreisförmig schneller bewegten Schütteltisch werden die Bodensuspensionen für die Bodensäurebestimmungen hergestellt. Dieses Aufschlämmungsverfahren in normalen Pulverflaschen (meines Wissens zum ersten Male ausgeführt von Hock-München) hat gegenüber den Durchmischungen in Rotationsapparaten mit Stohmannflaschen den Vorteil, daß der für die Titration (ohne Jonometer) notwendige, klare Bodenauszug nach

[2]) Die Salzsäure wird in einem eigenen Gefäß mitgeliefert.

dem Absitzen (über Nacht) sofort in der notwendigen Menge aus den Flaschen abpipettiert werden kann. Dadurch wird das oft langwierige Filtrieren der Bodensuspensionen umgangen, zugleich die Aufschlämmung weniger lang der Luft ausgesetzt (die Flaschen bleiben verstöpselt stehen) und eine für den Serienbetrieb

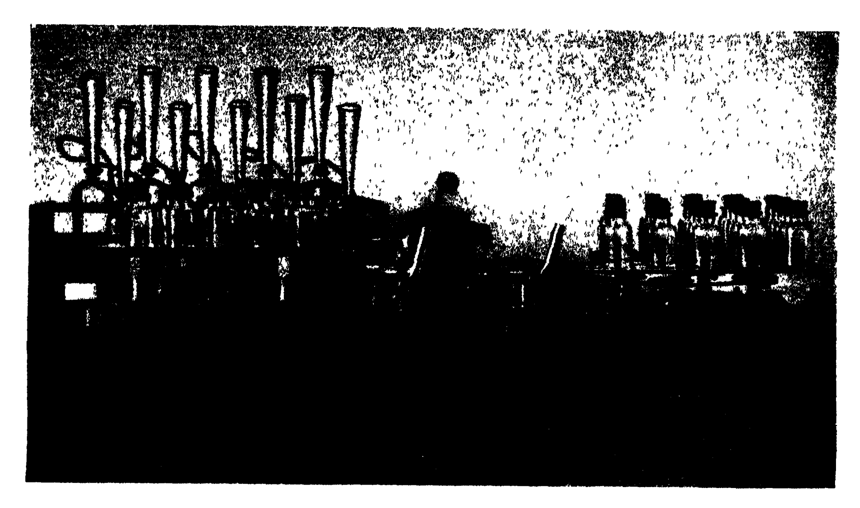


Abb. 3. Kombinierter Schütteltisch nach Schnell.

merkliche Einsparung an Filtrierpapier erreicht. Sehr stark humose Böden bilden hierbei eine Ausnahme, da sie sich nicht schnell genug klären und deshalb abfiltriert werden müssen.

IV. Klimaregulator nach Schnell. DRGM.

Dieser Apparat ist aus der Notwendigkeit heraus entstanden, bei der Einrichtung eines „Neubauer"-Vegetationsraumes möglichst billig eine einwandfrei arbeitende Klimaanlage zu schaffen.

Beschreibung des Apparates und dessen Arbeitsweise. Mit Hilfe von zwei, in dem betreffenden Raum beliebig aufstellbaren Kontaktthermometern wird die Temperatur-Regelungsanlage automatisch gesteuert.

Die Heizung erfolgt bei Bedarf durch einen Windmotor, der die Raumluft über elektrische Heizkörper treibt. Die Kühlung geschieht durch einen Luftstrom, der durch einen mit Leitungswasser gespeisten Spezialkühler geleitet wird. Auf diese Weise wird im Raum eine völlig ausgeglichene Klimaregelung mit einer Temperaturkonstanz von $\pm$ 0,2° C innerhalb eines einstellbaren Temperaturbereiches von 17 und 25° C bei kaum bewegter Luft erzielt. Zur Erhöhung des Wasserdampfgehaltes der Raumluft ist eine selbsttätige Warmluftbefeuchtung eingebaut.

Trotz der platzsparenden Zusammenstellung der ganzen Anlage wurde doch eine reichliche Dimensionierung aller Einzelteile

vorgenommen, um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können und die Wartung des Apparates auf ein Minimum herabzusetzen. Der Wasser- und Stromverbrauch ist selbst bei dauernder Beanspruchung gering.

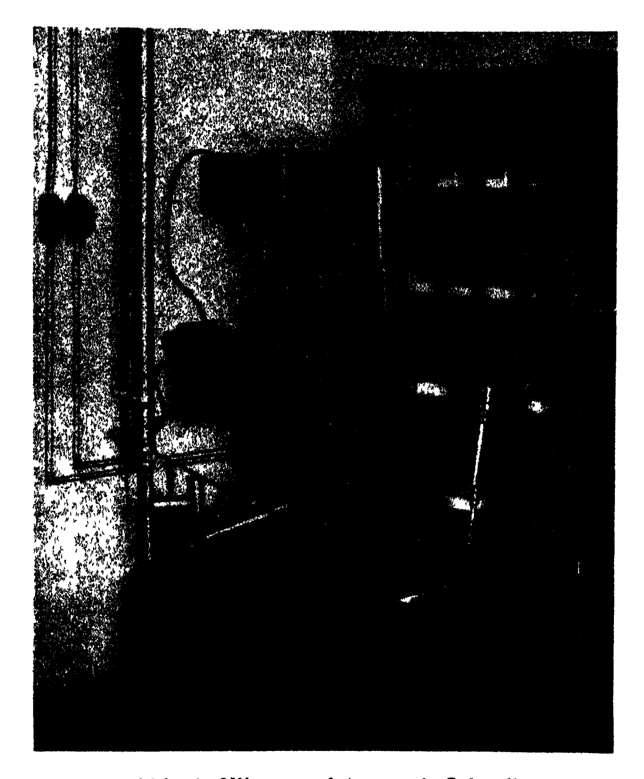


Abb. 4. Klimaregulator nach Schnell.

Der Regulator benötigt $^1/_2$-Zoll-starken Wasseranschluß und Wasserablauf und einen Anschluß an das elektrische Stromnetz. Die Zu- und Ableitung des Wassers kann durch Gummischläuche hergestellt werden, welche an den entsprechenden Leitungsenden des Apparates angebracht werden. Für den elektrischen Anschluß ist nur ein normaler Steckkontakt notwendig. Es ist also die einfachste und schnellste Aufstellung des Apparates in jedem beliebigen Raume (bis zu zirka 90 cbm) ermöglicht. [261]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Untersuchungen über die Wirkung der Kalisalze auf den Ertrag und die wertbildenden Eigenschaften des Faser- und Ölleins*).

Von **K. Opitz, E. Tamm, E. Egglhuber** und **W. Knies.**
Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Berlin.

Eingegangen: 3. Januar 1939.

Einleitung.

Die Bedeutung des Kaliums für die Ernährung des Leins ist als solche natürlich unbestritten. Doch bedürfen noch manche Fragen, wie diejenigen über die Beziehungen zwischen Nährstoff- und Düngerbedarf für Kali, über das günstigste Verhältnis des Kalis zu den anderen Nährstoffen, über die Bedeutung der Kaliform bzw. der Nebensalze in den handelsüblichen Kalisalzen u. a. m. der besseren Klärung.

Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur letztgenannten Frage, also derjenigen der etwaigen Sonderwirkung der wichtigen Kalisalze des Handels bei schwachen und gesteigerten Gaben.

Die älteren Autoren, wie Nobbe, Kraftt-Fruwirth und Kleeberger (1) glaubten den Chlorverbindungen eine besonders günstige Wirkung für die Faserausbeute und die Fasergüte zuschreiben zu sollen. Auch nach Steigerwald (2) wirkt der Kainit auf den Stengelertrag und möglicherweise auch auf den Fasergehalt günstiger als die Kalimagnesia. Nach seinen Versuchen soll das Magnesium bei der Samenbildung der wirksame Bestandteil sein, während bei der Stengel- und Faserbildung das Chlor die Hauptrolle spielen soll. -- Schmalfuß (3) bemerkt hingegen bei einer zusammenfassenden Betrachtung der Versuche Toblers: „Nicht gleichgültig war es, ob das Kalium den Pflanzen als Sulfat oder als Chlorid geboten wurde. Die schwefelsauren Salze wirkten wesentlich günstiger als die Chloride. Kaligaben in Form von Chloriden hatten dünne Faserzellwände, größere Lumina und geringere Geschlossenheit der Bündel im Gefolge."

Nach unseren Beobachtungen reagiert der Lein im Gefaß stärker auf Konzentrationsschaden als andere Pflanzen, z. B. Gerste (4). Nach Schmalfuß reagiert die Leinpflanze viel stärker auf die Anionen als auf die Kationen; so vertrug sie bei Verwendung von Dahlemer Boden in Form des Kaliumsulfates zusammen mit Ammonnitrat die hohe Gabe von 3,6 K_2O je Gefaß; weder der Ertrag noch der Fasergehalt wurde geschädigt. Dagegen wirkte die gleiche Kaligabe als Chlorid in beiderlei Hinsicht schädlich. - Sowohl die Kali- wie die Stickstoffsalze sagten der Leinpflanze als Chloride wenig zu; während sich die Kombination von Ammonsulfat und Kalisulfat günstig auf den Ertrag auswirkte. Auch war die Wirkung der Anionen auf die anatomische Struktur des Stengelquerschnitts eine mehr oder weniger spezifische. Das Chlorion vermehrte im Gegensatz zum Sulfation den Anteil der Faserquerschnittfläche an der gesamten Stengelquerschnittfläche, vergrößerte den Querschnitt der Faserzelle mit steigender Kaligabe mehr als das Sulfat und erhöhte damit die Sukkulenz der Zelle zusammen mit der Kaligabe in besonderem Maße, drückte aber die Faserzellenzahl herab. Das Gefüge der Bündel war bei den Sulfatpflanzen besser, die Lumina waren kleiner und die Zellwände dicker. Schmalfuß bringt die Wirkung der Kationen und Anionen in kausalen Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt der Pflanzen. Das Chlorid ist in dieser Hinsicht auf Grund seiner zellvergrößernden Wirkung

*) Aus dem Arbeitskreis des Forschungsdienstes II/5a: „Einfluß der Düngung auf die Qualität der Faserpflanzen." Federführender: Prof. Dr. Opitz, Berlin.

günstiger zu beurteilen als das Sulfat. Nach den Ergebnissen und Auslegungen von Schmalfuß kann also die Frage der dem Lein etwa besonders zusagenden Salzform nicht gerade als einfach hingestellt werden. Für die Fasermenge und -güte erwies sich aber in Übereinstimmung mit Tobler auch bei Schmalfuß das Sulfat besser als das Chlorid.

Kalidüngungsversuche mit Lein wurden von uns im Felde s. Z. wiederholt angestellt. Bei einem Versuch (1921) (5) auf mittlerem Lehm wurde durch gesteigerte Kainitgaben der Strohertrag gesenkt, der Gehalt an Gesamt- und Langfaser aber bedeutend erhöht, so daß eine günstige Wirkung auf den Faserertrag festgestellt werden konnte.

Auf dem Versuchsfelde Dahlem mit lehmigem Sandboden mäßigen bis geringen Kaligehaltes verabfolgten wir dem Lein 1923 folgende Kali- bzw. Salzmengen (kg/ha) (6):

	Schwefels. Kali	50 % iges Salz	Kainit
80 kg K_2O	160	160	640
160 kg K_2O	320	320	1280
240 kg K_2O	480	480	1760

Die einfache Gabe wirkte günstig auf den Ertrag an Stroh und Faser, durch die doppelte Gabe wurden die Mehrerträge bereits herabgesetzt und durch die stärkste Gabe ganz aufgehoben. Der Fasergehalt wurde gleichmäßig durch alle drei Salze und alle drei Gaben um 1 1,5 % erhoht. Der Samenertrag wurde nur durch das schwefelsaure Kali bei schwacher und mittlerer Gabe gesteigert, das 50 %ige Kalisalz war so gut wie wirkungslos. Eine Schädigung des Samenertrages trat stets durch Kainitdüngung ein und zwar mit der Verstärkung der Düngung in zunehmendem Maße. Auch die anderen drei Salze wirkten bei 320 kg/ha ungünstig.

Fabian (8) stellte bei mehrjährigen Gefäß- und einjährigen Feldversuchen (die aber einem Dauerversuch mit differenzierten Dungergaben eingefügt werden konnten) nur ein mäßiges Nährstoffbedürfnis des Leins fest. Das Kali wirkte insbesondere bei der Faserbildung einer etwaigen Schädigung durch Stickstoff entgegen, aber nur innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen, außerhalb deren die weitere Kalizufuhr sich als wirkungslos oder sogar schädlich erwies. Bez. weiterer im Schrifttum enthaltener Ergebnisse, die nur als spärlich bezeichnet werden können, sei auf das von uns s. Z. erstattete Sammelreferat (8) verwiesen.

Die angeführten, unseres Wissens bisher nicht widerlegten Ergebnisse weisen darauf hin, daß das Kalidungungsbedurfnis des Leins nur mäßig, bzw. seine Empfindlichkeit fur stark erhöhte Gaben ziemlich groß ist. Was die Kalisalzform betrifft, so scheinen nach dem neueren Stand der Forschung die Sulfate vor den Chloriden den Vorzug zu verdienen.

I. Eigene Gefäßversuche.

a) Versuchsanstellung und Wachstumsbeobachtung.

Im Frühjahr 1937 stellten wir im Rahmen unserer Arbeiten zur Förderung des Leinbaus weitere Versuche in Gefaßen über die Wirkung der verschiedenen Kalisalze auf die Leinpflanze an. Als Versuchspflanzen benutzten wir einen Faserlein eigener Züchtung und einen Ollein vom Forschungsinstitut Sorau. Um die Kaligaben voll zur Wirkung zu bringen, dabei aber etwaigen Konzentrationsschäden nach Möglichkeit zu begegnen, wurde als Versuchsmedium ein Gemisch von Freienwalder Quarzsand mit schwachsandigem Lehmboden, der uns vom Kalisyndikat entgegenkommender Weise zur Verfügung gestellt und als kaliarm bezeichnet worden war, im Verhältnis von 6,5 : 1 gewählt, so daß jedes der benutzten Mitscherlich-Gefäße 7,5 kg dieser Mischung im lufttrockenen Zustande enthielt. Der K_2O-Gehalt des Bodens nach Neubauer betrug in 100 g 11 mg = 165 mg je Gefäß. Auch der Sand

enthielt Spuren Kali. Die Berechnung nach Mitscherlich ergab im Sande + Boden je Gefäß 190 mg K_2O, eine Kalimenge, die unter den Bedingungen des Versuchs bereits für 74% des Höchstertrages genügte.

Als Grunddüngung wurden je Gefäß verabfolgt:

1 g N als Ammonnitrat,
1 g P_2O_5 als Dikalziumphosphat,
0,5 g NaCl,
1,0 g $MgSO_4$,
2 g $CaCO_3$.

Die Differenzdüngung betrug 0 — 0,5 — 1 — 2 g K_2O in Form der verschiedenen Salze. Diese wurden uns dankenswerter Weise vom Kalisyndikat mit folgenden Vollanalysen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 1.

Chemische Zusammensetzung der Kalisalze.

Bestandteile	Kainit (Kt) %	K_2O %	50er Kalidüngesalz (50% S) %	K_2O %	Schwefelsaures Kali (schw. K) %	K_2O %	Schwefels. Kalimagnesia (Patentkali) (KMg) %	K_2O %
KCl	22,20	14,04	84,57	53,23	2,90	1,83	2,99	1,89
K_2SO_4	—		—		90,03	49,63	48,89	27,37
NaCl	64,84		12,74		0,72		0,41	
$CaSO_4$	3,67		0,82		0,68		2,02	
$MgSO_4$	0,75		0,45		4,11		32,64	
$MgCl_2$	0,54		0,71		0,21		0,27	
H_2O	3,60		0,51		1,14		7,61	
Unlöslich	4,40		0,20		0,21		5,17	

Die Aussaat erfolgte am 26. April. Nachdem anfangs der Boden mittelfeucht gehalten worden war, wurde er etwa von der 3. Woche an täglich auf volle Wassersattigung gebracht.

Vegetationsdaten:	Faserlein	Öllein	
Aufgang am	4. Mai	5. Mai	
Am 10. Mai vereinzelt auf	70–80	45–50	Pflanzen
Blühbeginn	14. Juni	14. Juni	
Blühende	19. Juni	später.	

In den ungedüngten Gefäßen war das Wachstum äußerst spärlich. Der Auflauf war zwar ziemlich normal; allmählich ging aber etwa ¹/₄ der Pflanzen zugrunde. Eine Verästelung erfolgte hier überhaupt nicht; jede Pflanze hatte nur eine Blütenknospe; nur ein Teil der kümmerlichen Pflanzen brachte es zur Ausbildung von Samen. Ein kräftigeres, aber nur geringere Höhen erreichendes Wachstum zeigten die nur mit N und P_2O_5 gedüngten Pflanzen. Eine sehr gute Entwicklung zeigten im allgemeinen die mit Volldüngung versehenen Kulturen, abgesehen von der Kainitreihe. Hier stellten sich bei der mittleren Kaligabe geringe und bei der hohen starke Wachstumsschäden ein, die nur auf die zu starken Salz- bzw. Chlorgaben zurückgeführt werden können. Am 18. Juli wurde bei der Düngung mit schwefelsaurem Kali einheitliche hellgelbe Färbung der Pflanzen festgestellt, während alle anderen Kulturen noch grünlichen Farbton zeigten. Wenig später wurde der Lein in gleichmäßig reifem Zustand geerntet. Über das Gelingen der Kulturen und über die etwaigen Wachstumsschäden unterrichten im übrigen die Daten der Tabellen 2 und 3, worauf hiermit verwiesen sei. Im folgenden werden die Ergebnisse für jede Leinsorte getrennt von der anderen besprochen, und zwar zuerst für den Faserlein.

b) Ergebnisse der Versuche mit Faserlein.

Sämtliche Pflanzen wurden nach der Entkörnung, nach Versuchsgliedern getrennt, zunächst im lufttrockenen Zustand der

morphologischen Untersuchung unterzogen, über die in einem der folgenden Abschnitte berichtet wird; sodann getrocknet und gewogen. Der Fasergehalt wurde nach Bredemann durch Aufschluß mit Natronlauge bestimmt.

Tabelle 2.
Kaliformenversuch mit Faserlein.

Düngung g je Gefäß			Kaliform	Erträge g Trockenmasse			Korn/Stroh-Verhältnis	Stroh ohne Kapseln	Fasergehalt des Strohs %	Faserertrag g
N	P_2O_5	K_2O		Gesamt	Körner	Stroh + Kapseln				
0	0	0		7,43 ± 0,16	1,12 ± 0,17	6,3 ± 0,25	5,63	5,48 ± 0,06	24,0	1,32
1	1	0		52,2 ± 1,77	2,5 ± 0,25	49,7 ± 1,52	19,9	39,93 ± 1,14	24,0	9,57
1	1	0,5	Kainit	68,35 ± 0,76	14,9 ± 0,61	53,45 ± 0,40	3,6	44,2 ± 0,22	24,3	10,73
1	1	1		61,23 ± 0,91	13,45 ± 0,13	47,77 ± 0,79	3,55	38,9 ± 0,65	21,0	8,17
1	1	2		37,35 ± 2,15	7,42 ± 0,56	29,92 ± 1,87	4,02	24,45 ± 1,66	21,3	5,20
1	1	0,5	50 % Kalisalz	69,9 ± 1,3	15,12 ± 1,07	54,77 ± 0,37	3,62	45,35 ± 0,77	23,4	10,61
1	1	1		71,55 ± 1,48	16,42 ± 0,24	55,12 ± 1,25	3,35	46,3 ± 1,01	22,4	10,38
1	1	2		65,75 ± 1,26	15,55 ± 0,29	50,2 ± 1,20	3,23	41,58 ± 0,95	22,0	9,18
1	1	0,5	Schwefelsaure Kalimagnesia	68,98 ± 1,28	15,55 ± 0,27	53,42 ± 1,06	3,44	43,48 ± 0,81	23,7	10,30
1	1	1		71,65 ± 0,54	16,92 ± 0,16	54,72 ± 0,56	3,22	45,95 ± 0,30	23,5	10,80
1	1	2		69,33 ± 0,54	15,17 ± 0,39	54,17 ± 0,32	3,57	45,93 ± 0,86	23,7	10,90
1	1	0,5	Schwefelsaures Kali	68,0 ± 1,07	14,2 ± 0,72	53,8 ± 0,69	3,8	45,53 ± 0,64	23,9	10,88
1	1	1		68,7 ± 0,58	14,23 ± 0,32	54,47 ± 0,55	3,83	45,4 ± 0,36	24,6	11,17
1	1	2		67,43 ± 0,85	15,32 ± 0,52	52,1 ± 0,33	3,4	42,88 ± 0,39	25,0	10,72

Daß die Substanzbildung ohne jegliche Düngung nur äußerst spärlich war (Tab. 2), ist in Anbetracht der Nährstoffarmut des Substrats selbstverständlich. Die Düngung mit Stickstoff und Phosphorsäure hat wohl den Strohertrag sehr stark gesteigert, auf die Kornbildung aber fast keinen Einfluß gehabt, so daß sich hier als Folge des Kalimangels ein abnorm weites Korn- und Strohverhältnis ergibt (wie man dies unter ähnlichen Bedingungen stets beobachten kann).

Mit der Kaligabe von 0,5 g je Gefäß wurde der mit Kali erzielbare Höchstertrag an Gesamtmasse, Korn und Stroh bereits er-

reicht, so daß die Gaben von 1 und 2 g K_2O Überschußdüngungen darstellen (Tab. 2).

Was die verschiedenen Kalisalze betrifft, so sind die Gesamt-Korn- und Stroherträge bei der schwächsten Gabe von 0,5 g K_2O unter Berücksichtigung der Versuchsfehler überall gleich. Ein Unterschied ergibt sich erst bei den stärkeren Düngungen insofern, als im Gegensatz zu den praktisch chlorfreien Salzen das 50%ige Kalisalz (Chlorkali) in der letzten Staffel (2 g K_2O) eine geringe, aber fehlerkritisch gesicherte, der Kainit bei der mittleren Lage bereits eine deutliche und bei der stärksten Gabe eine den oben erwähnten Schädigungen des Wachstums entsprechende sehr starke Ertragsdrückung bewirkt hat. Es entsteht nun die Frage, ob es sich hierbei um eine spezifische Chlorwirkung oder um die Folgen zu starker Salzkonzentration überhaupt handelt. Bei dem 50%igem Salz kann von Salzkonzentrationsschäden schon deshalb keine Rede sein, weil die Salzgabe entsprechend dem höheren Kaligehalt geringer als in den völlig unschädlichen schwefelsauren Salzen war. Im Kainit ist zwar bei gleichen Kaligaben die doppelte Salzmenge verabfolgt worden als im Patentkali (KMg.), in Anbetracht seines hohen Gehaltes an Chlorverbindungen ist aber hier die Wahrscheinlichkeit der Schädigung durch Chlor natürlich eine besonders große. Auf diese Schädigung durch die mittelstarke bzw. durch die starke Kainitgabe muß bereits an dieser Stelle deshalb besonders aufmerksam gemacht werden, weil sie auch bei den weiter unten darzulegenden Qualitatsprüfungen eine große Rolle spielt. Eine zusammenfassende Betrachtung uber die Ursache der Wachstumsschädigung bringen wir am Schluß der Arbeit.

Von dem oben erwähnten besonderen Falle abgesehen, ist bezüglich des Korn- und Strohverhältnisses zu sagen, daß dieses gleichfalls durch die starke Kainitdüngung etwas ungünstig beeinflußt, der Kornertrag also noch stärker gedrückt worden ist als der Strohertrag; sonstige Sonderwirkungen der verschiedenen Salze sind am Korn- und Strohverhältnis nicht festzustellen.

Zur Beurteilung des Fasergehalts sei zunächst bemerkt, daß dank der genauen Arbeitsweise der chemischen Methode Gehaltsunterschiede von 1% sicher erfaßt werden. Bekanntlich wird der Kalidüngung bei der Faserbildung vielfach eine besonders große Bedeutung beigemessen, so daß der aus der Tabelle 2 klar ersichtliche Befund, daß die Kalidüngung in Form der im Zahlenvermerk zuerst angeführten drei Salze den bereits bei 0 Kali ziemlich hohen Fasergehalt von 24% überhaupt nicht erhöht hat, überraschend wirkt. Durch die hohe und mittlere Kaligabe im Kainit ist die Faserausbeute vielmehr um etwa 3% und im 50%igen Kalisalz (Chlorkali) um 2% herabgesetzt worden. Die schwefelsaure Kalimagnesia hat die prozentische Fasermenge überhaupt nicht beeinflußt und lediglich bei dem schwefelsauren Kali finden wir die Tendenz zu einer geringen Fasergehaltssteigerung von 1%. Es stellt sich also im ganzen genommen Belanglosigkeit der Kali-

Tabelle 3. Kaliformenversuch mit Ollein.

Düngung g je Gefäß N	P_2O_5	K_2O	Kaliform	Erträge g Trockenmasse Gesamt	Körner	Stroh + Kapseln	Korn/Stroh-Verhältnis	Rohfettgehalt der Körner %	Rohfettertrag g	Rohproteingehalt d. Körner %	Rohproteinertrag g	Jodzahl
0	0	0		6,38 ± 0,38	1,6 ± 0,14	4,77 ± 0,25	2,98	—*)	—*)	20,7	0,33	—*)
1	1	0		38,73 ± 1,31	3,47 ± 0,27	35,25 ± 1,07	10,16	35,1	1,24	28,5	0,99	—*)
1	1	0,5	Kainit	54,05 ± 1,50	15,55 ± 0,43	38,5 ± 1,66	2,5	36,5	5,67	23,5	3,66	174,95
1	1	1		50,65 ± 0,65	15,25 ± 0,54	35,4 ± 0,87	2,32	36,7	5,60	23,4	3,57	174,99
1	1	2		21,48 ± 4,29	7,35 ± 2,08	14,12 ± 2,72	1,92	33,4	2,46	23,9	2,20	—*)
1	1	0,5	50 % Kalisalz	63,5 ± 0,83	15,6 ± 0,54	47,9 ± 0,47	3,1	34,7	5,41	25,1	3,92	174,61
1	1	1		64,28 ± 0,67	16,02 ± 0,81	48,22 ± 0,83	3,02	34,3	5,50	23,7	3,80	176,05
1	1	2		61,75 ± 0,39	16,75 ± 0,58	45,0 ± 0,62	2,7	34,6	5,80	22,9	3,84	174,47
1	1	0,5	Schwefelsaure Kalimagnesia	60,88 ± 1,93	16,27 ± 0,16	44,6 ± 1,88	2,75	38,0	6,18	24,4	3,91	173,58
1	1	1		63,68 ± 0,81	16,97 ± 0,09	46,7 ± 0,83	2,75	37,9	6,43	23,3	3,96	174,78
1	1	2		62,75 ± 0,81	16,68 ± 0,46	46,07 ± 0,78	2,75	37,2	6,20	22,6	3,77	176,79
1	1	0,5	Schwefelsaures Kali	60,05 ± 0,80	14,17 ± 0,44	45,88 ± 0,70	3,25	37,9	5,37	22,7	3,22	175,55
1	1	1		60,85 ± 0,87	14,1 ± 0,62	46,75 ± 1,25	3,32	35,0	4,93	24,9	3,51	178,37
1	1	2		55,77 ± 1,35	14,35 ± 0,83	41,43 ± 0,92	2,89	35,8	5,14	23,7	3,40	178,80

*) Untersuchung wegen Mangel an Substanz nicht möglich.

düngung für den Fasergehalt selbst in denjenigen Fällen heraus, wo der Strohertrag erheblich gesteigert werden konnte; während andererseits der Ertragssenkung bei den mittleren bzw. starken Gaben von Kainit und 50%igem Kalisalz (Chlorkali) auch der Rückgang des Fasergehalts entspricht, so daß zu folgern wäre, daß die im Substrat vorhandene Kalimenge, obgleich sie nach Zufuhr von Stickstoff und Phosphorsaure im relativen Minimum war, zu der unter diesen Bedingungen moglichen quantitativen Faserbildung bereits genugt hat. Bezuglich des Faserertrages ergeben sich dieselben Beziehungen wie bezüglich des Strohertrages und zwar infolge der oben erwahnten Beeinflussung des Fasergehalts in etwas verstärktem Ausmaß. Daß die fragliche Schädigung auch hier weniger der Salzkonzentration als der besonderen Wirkung des Chlors beizumessen sein dürfte, kann wieder aus dem Vergleich des Chlorkaliums mit der schwefelsauren Kalimagnesia geschlossen werden: bei letzterer war die Salzmenge je Topf etwas großer; gleichwohl hat es im Gegensatz zum Chlorkali nicht schadlich gewirkt.

c) Ergebnisse der Gefaßversuche mit Öllein.

Wahrend bei dem Versuch mit Faserlein vornehmlich auf den Strohertrag und die Menge und Gute der Faser Wert gelegt werden mußte, (— die Gute der Faser wird im folgenden Abschnitt behandelt —) standen bei dem Versuch mit Ollein die wertbildenden Merkmale des Korns (s. Tab. 3) im Vordergrunde.

Im Ganzen betrachtet entspricht die Ertragsbildung des Olleins unter dem Einfluß der Kalidungung derjenigen des Faserleins; doch finden sich einige nicht unbetrachtliche Abweichungen:

1. Das Ertragsniveau des Olleins liegt bereits bei der schwachsten Kainitgabe betrachtlich tiefer als bei den gleich geringen Kaligaben in den ubrigen Salzen, wenn man die Gesamt- und Stroh(+ Kapsel)-Erträge in Betracht zieht; wahrend der Faserlein bei 0,5 g K_2O auf alle vier Salze gleich gut reagiert hatte. Ferner bewirkten die gesteigerten Kainitgaben bei dem Öllein starkere Ertragsabfalle als bei der anderen Sorte. So war der Relativertrag, bezogen auf 0,5 g K_2O = 100, bei 2 g K_2O:

	Gesamt-	Korn-	Strohertrag
Faserlein	54,8	49,0	55,9
Ollein	39,7	47,4	36,6

Der Kainit hat sich also nicht nur für den Ollein als das bei „Normaldüngung" am schlechtesten wirkende Kalisalz erwiesen, sondern die Empfindlichkeit dieser Sorte gegen erhöhte Kainitgaben war auch noch besonders groß, wobei sich allerdings die merkwürdige Erscheinung einer starken Reaktion des Strohertrages und einer geringeren Beeinflussung des Kornertrages ergibt.

2. Das schwefelsaure Kali ist im ganzen betrachtet etwas schlechter zu beurteilen, wie sich namentlich im Ertragsabfall des Gesamt- und Strohertrages bei der 2 g K_2O-Gabe und in dem durchweg etwas niedrigeren Kornertrage zeigt.

3. Nach Düngung mit schwefelsaurer Kalimagnesia waren die Kornerträge in allen Versuchsgliedern gleichmäßig und deutlich höher als bei den mit Kainit und schwefelsaurem Kali gedüngten Pflanzen. Besonders überzeugend wirkt der Unterschied bei dem Vergleich der beiden schwefelsauren Salze, so daß auf eine günstige Wirkung des Mg geschlossen werden muß, was eine Bestätigung der oben erwähnten Beobachtung Steigerwalds bedeuten würde, während wir den Befund desselben Autors, daß das Chlor die Faserbildung begünstigt, nicht bestätigen können.

4. Der Rohfettgehalt ist durch Kainit und schwefelsaures Kali bei den schwächeren Kaligaben und durch schwefelsaure Kalimangnesia bei allen Kaligaben gegenüber der kalifreien Düngung erhöht worden; das 50%ige Kalisalz (Chlorkali) hat eher etwas deprimierend gewirkt. Deutlich trifft letzteres wieder für die 2 g K_2O-Gabe im Kainit zu. Am günstigsten steht wieder das schwefelsaure Kalimagnesia da, so daß seine gute Leistung bei Kombinierung des Kornertrages mit dem Rohfettgehalt im Rohfettertrage deutlich hervortritt.

5. Die Jodzahl, welche den Sättigungsgrad des Leinöls und seine Eignung für die Herstellung schnell trocknender Anstreichmittel anzeigen soll, zeigt in ihrer Höhe einige Wirkungen der Kalidüngung, nämlich trotz einiger Unregelmäßigkeiten mit der Stärke der Kalidüngung zunehmende Werte und bei dem Vergleich der verschiedenen Salze die beste Wirkung durch das schwefelsaure Kali.

Ein weiteres Merkmal für den wirtschaftlichen Wert des Leinsamens ist der Proteingehalt, der im Mittel ungefähr 24% beträgt. Wir ersehen aus der Tabelle 3 ein Absinken des bei Kalimangel hohen Rohproteingehalts von 28,5% um etwa 3—5% durch die 0,5 g Kaligabe bei allen Kalisalzen und eine weitere Gehaltsminderung durch steigende Kaligaben um etwa 2% bei dem 50%igen Kalisalz (Chlorkali) und der schwefelsauren Kalimagnesia. Die zu erwartende gegensätzliche Beziehung zwischen dem Gehalt im Protein und Fett tritt nicht klar in Erscheinung. Ein wesentliches Ergebnis dieser Versuchsreihe ist der Nachweis der guten Wirkung der schwefelsauren Kalimagnesia auf die Menge und den Fettgehalt der Samen.

In Anbetracht der Bedeutung der Qualitätsbeeinflussung unserer Ölfrüchte durch mineralische Düngung sei hier kurz auf die einschlägigen Untersuchungen von Schmalfuß verwiesen. Bei der Verabfolgung verschiedener Gaben und verschiedener Formen von Kali und Stickstoff ergaben sich im Fettgehalt keine regelmäßigen Unterschiede unter dem Einfluß der Ernährung. Der Sättigungsgrad des Leinöls wurde jedoch durch Mineralsalzernährung eindeutig beeinflußt. „Steigende Gaben von Chlor-Ionen erhalten die Jodzahl gleich hoch oder erhöhen sie; dagegen erhöht die Zufuhr von SO_4-Ionen den Sättigungsgrad des Öls, drückt also die Höhe der Jodzahl herab.“ Die Wirkung von

Mg wurde von Schmalfuß nicht geprüft. Obwohl bei seinem Versuche chemisch reines Kaliumchlorid und Kaliumsulfat, bei den unsrigen die Kalisalze des Handels Verwendung fanden und ein Vergleich nur mit Einschränkung möglich ist, läßt sich doch folgern, daß die beiderseitigen Ergebnisse nicht übereinstimmen.

II. Morphologische und anatomische Untersuchungen des Faserleins.

a) Methodisches.

Bei den auf die Erfassung der Stroh- und Fasergüte gerichteten morphologischen und anatomischen Untersuchungen konnten wir uns auf die bei einer methodischen Gemeinschaftsarbeit (9) gesammelten Erfahrungen, über die ein besonderer Bericht erstattet wird, stützen. Unter Hinweis auf diesen sei bezüglich der Art der Untersuchung folgendes in Kürze bemerkt.

Von sämtlichen Pflanzen der 4 Vergleichsgefäße jedes Versuchsgliedes (etwa 300) wurden zunächst die Stengeldicken in der Mitte der technischen Stengellänge festgestellt und die Pflanzen in Dickenklassen von je 0,10 mm Abstand eingeteilt.

Es ergaben sich dabei 16 Dickenklassen von 2,05 bis 0,56 mm; durch die Verteilung der Pflanzen auf die entsprechenden Dickenklassen erfolgte zugleich eine Vermischung der Pflanzen aus den vier Vergleichsgefäßen. Aus der Gesamtzahl von rund 300 wurden 16 Pflanzen zur anatomischen Untersuchung entnommen, die den Dickenklassen, die einen hohen Pflanzenanteil besaßen, angehörten. Die extremen Dickenklassen mit wenigen Pflanzen fielen dabei aus. Der größte Anteil der untersuchten Pflanzen bzw. Stengel lag im Bereich 1,76—1,25 mm Stengeldicke.

Die tabellarische Wiedergabe des ganzen Zahlenmaterials würde die Übersicht allzu sehr erschweren. Um diesem Übelstande zu begegnen, wurde daher in der aus der Tabelle 7b ersichtlichen Weise verfahren; d. h. es wurden drei Gruppen von Dickenklassen gebildet, die erste Gruppe enthält die Stengeldicken über 1,76 mm, die dritte diejenigen unter 1,35 mm und die zweite die dazwischen liegenden Stengeldicken von 1,75—1,36 mm. Zwecks Aufstellung übersichtlicher Tabellen mußten also wieder Mittelwerte aus verschiedenen Dickenklassen gebildet werden. Dieser Mittelbildung wurde aber nicht die Zahl der überhaupt untersuchten Individuen zugrunde gelegt, was ja zu einer widersinnigen Ausschaltung der vorher mühevoll durchgeführten Klassenbildung geführt hätte; sondern das Mittel jeder Gruppe wurde aus der Zahl der Dickenklassen je Gruppe berechnet, und zwar in der nach Maßgabe unserer vorherigen Ermittlungen richtigen Annahme, daß die je Dickenklasse ermittelte Zahl eine in gewissen Grenzen festgelegte Größe darstellt, so daß die von uns gewählte Berechnungsweise eine relativ sichere Grundlage erhält. Gerade bei den mit viel Zeitaufwand verbundenen anatomischen Untersuchungen ist es besonders schwierig, Durchschnittswerte zu gewinnen, die dem wahren Sachverhalt möglichst nahekommen, ohne ein Übermaß von Arbeit zu beanspruchen. Durch unser Verfahren glauben wir diese Aufgabe annähernd gelöst zu haben.

Die Zahl der anatomischen Merkmale ist bei der vorliegenden Untersuchung von 13, die wir bei der erwähnten Gemeinschaftarbeit feststellen, auf die für die Beurteilung entscheidenden 5, nämlich die Zahl der Bündel, der Faserzellen im Querschnitt und je Bündel, ferner die Zahl der radial angeordneten Zellreihen und die durchschnittliche Fläche einer Faserzelle herabgesetzt worden. Dazu kommt noch die Beschreibung der Bündelgestaltung, der Lage und Gestalt der Zellen, ihrer Lumengroße, etwaiger Interzellularen und Verholzungen, sowie die Bestimmung des Fasergehalts (s. Tab. 2).

Einen guten Maßstab fur etwaige Vergleiche hat die frühere Untersuchung in Gestalt der qualitativ sehr guten Probe A aus einem großen Posten, dessen Verarbeitung bei den Gruschwitz Textilwerken in Neusalz a. O. sehr gutes Garn ergab, geliefert. In Tabelle 4 sind die Eigenschaften dieser Probe mit einer Gefäß-

Tabelle 4.
Vergleich der Standardprobe A mit der Gefaßversuchsreihe, schwefelsaure Kalimagnesia 1 g K_2O.

	Dickenklasse	Stengeldicke	Pflanzenhohe cm	Stengellange cm	Schlankheit	Zahl der Bundel	Zahl der Faserzellen im Querschnitt	Zahl der Faserzellen je Bundel	Zellreihen in radialer Richtung	Flache einer Faserzelle 560fach	Fasergehalt
Probe A	1,65—1,26	1,58	84	74	539	33	676	21	3	468	23,0
Gefäß-Versuch	1,75- 1,36	1,51	81	70	562	34	719	22	3,2	449	23,5

ernte aus unserem Kaliversuch (neben Grunddüngung 1 g K_2O als schwefelsaure Kalimangnesia) verglichen, und zwar sind lediglich die „technisch wertvollen" Stengeldicken im Ausmaß von 1,65 bis 1,26 mm bei Probe A und 1,75 -1,36 mm bei der Gefäßernte in Vergleich gestellt. Die morphologischen und anatomischen Merkmale stimmen gut uberein, was um so mehr fur eine gute Qualität der Gefäßernte spricht, weil bei dieser der Anteil der „technisch wertvollen Stengeldicken" weit großer war als bei der Probe A.

b) Die morphologischen Merkmale.

Die Dicken- und Längenmaße des Leinstengels geben wertvolle Anhaltspunkte für die Qualitatsbeurteilung des Leinstrohs und indirekt der daraus zu gewinnenden Faser. Die diesbezüglichen Untersuchungsergebnisse ermöglichen daher auch Rückschlüsse auf die Dungewirkung.

Entsprechend dem schlechten Ertrage der ungedungten Gefäße sind die Längen- und Dickenmaße dieser Pflanzen sehr gering (Tab. 7). Die Düngung mit Stickstoff und Phosphorsäure hat besonders die Dicke der Stengel (gemessen in der Mitte der technischen Länge) erhöht; weniger trifft dies für die Höhenmaße zu; die Schlankheit der Stengel (Stengellange durch Stengeldicke) wurde gegen Ungedungt daher herabgesetzt. Der Vergleich der Düngung mit und ohne Kali (Tab. 7) ergibt Wirkungslosigkeit der Kalidüngung bez. der Stengeldicke, aber

eine sehr günstige Wirkung auf die Pflanzenhöhe und die Stengellänge und damit einen günstigen Einfluß der Kalidüngung auf die Schlankheit der Stengel.

Tabelle 5.

Verteilung der Pflanzen nach der Stengeldicke.

Dickenklasse mm	Anzahl der Pflanzen											
	0,5 g K_2O				1,0 g K_2O				2,0 g K_2O			
	KMg	Schwefelsaur. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefelsaur. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefelsaur. Kali	50 % Kali	Kainit
über 1,95	1	5	16	7	2	–	6	5	4	—	9	—
1,95—1,86	6	13	23	15	6	14	18	11	17	9	34	—
1,85—1,76	30	39	31	30	32	38	30	29	28	17	45	4
1,75—1,66	57	67	55	53	57	70	69	51	70	49	73	14
1,65—1,56	76	76	64	61	85	54	55	50	68	62	53	23
1,55—1,46	68	35	39	57	65	54	51	57	51	66	45	33
1,45—1,36	36	28	39	34	26	33	34	32	27	56	18	44
1,35—1,26	20	25	20	23	22	20	20	29	18	28	2	42
1,25—1,16	5	9	5	17	5	9	8	21	8	11	10	44
unter 1,15	16	12	18	31	11	6	24	37	17	12	16	84
	315	309	310	328	311	298	315	322	308	310	305	288

Anschließend soll die Wirkung der Kalisalze auf die morphologischen Eigenschaften des Leinstengels verglichen werden. Die Tabellen 5, 6 und 7 geben einen Überblick über die Verteilung sämtlicher Pflanzen nach der Stengeldicke. In Tabelle 5 ist jede Dickenklasse für sich angeführt. Die Tabellen 6 und 7 enthalten die oben erwähnte Gruppenbildung. Es zeigt sich ganz allgemein eine Anhäufung der Werte im Bereich von 1,75—1,46 mm und Abnahme nach den beiden Extremen. Zwischen den verschieden gedüngten Pflanzen sind Unterschiede vorhanden. Die günstigste Verteilung der Pflanzen auf die Dickenklassen findet sich bei der schwefelsauren Kalimagnesia, die bei allen Kaligaben eine große Zahl technisch guter Stengel erzeugt hat, die ungünstigste bei dem Kainit. Doch hing hier die Reaktion auf die Düngung sehr wesentlich von deren Stärke ab, so daß bei schwacher Gabe die Kainitpflanzen den mit schwefelsaurer Kalimagnesia gedüngten wenig nachstanden und sich um so mehr entfernten, je stärker die Kalidüngung war. Das 50%ige Kalisalz (Chlorkali) hat den Anteil der zu dicken Stengel mehr erhöht als den der dünnen; dagegen ist bei dem Kainit der Anteil der dünnen Stengel bei allen Düngergaben größer als bei den übrigen Salzen. Das schwefelsaure Salz hat im ganzen kaum weniger gut gewirkt als das schwefelsaure Kalimagnesia.

Die Erhöhung der K_2O-Gabe auf 1 g und 2 g hat im allgemeinen den Anteil der technisch guten Stengel gedrückt; und zwar bei schwefelsaurer Kalimagnesia nur sehr wenig, bei Kainit besonders

Tabelle 6. Verteilung der Pflanzen

Dickenklasse mm	0,5 g K_2O							
	KMg		Schwefelsaures Kali		50% Kali		Kainit	
über 1,76								
Zahl der Pflanzen	37		57		70		52	
in %		11,7		18,4		22,6		15,8
1,75—1,26								
Zahl der Pflanzen	257		231		217		228	
in %		81,6		74,8		70,0		69,5
unter 1,25								
Zahl der Pflanzen	21		21		23		48	
in %		6,7		6,8		7,4		14,7
	315		309		310		328	

stark; nur bei dem schwefelsauren Kali ist eine gegenteilige Wirkung zu erkennen.

Im ganzen betrachtet ist die Düngung mit schwefelsaurer Kalimagnesia und schwefelsaurem Kali für die Erzeugung guter und gleichmäßiger Stengel günstig gewesen, diejenige mit Kainit am ungünstigsten.

Auf die Pflanzenhöhe (Tab. 7) war die Düngung mit schwefelsaurer Kalimagnesia ohne Einfluß, die dünnstengeligen Pflanzen unterscheiden sich kaum von den übrigen. Das 50%ige Kalisalz (Chlorkali) erzeugte bei der mittelstarken Gabe von 1 g K_2O etwas höhere Pflanzen als schwefelsaure Kalimagnesia; bei den übrigen Gaben hingegen niedrigere. Die kürzesten und ungleichmäßigsten Pflanzen erzeugte bei allen Kalistaffeln die Düngung mit Kainit.

Auf die Stengellänge hat die Erhöhung der Kaligabe in Form von schwefelsaurer Kalimagnesia günstig gewirkt. Das bedeutet im Hinblick auf das oben über die Pflanzenhöhe Gesagte, daß die Verzweigung und der Kapselansatz reduziert wurden. Bei dem 50%igen Kalisalz (Chlorkali) ist entsprechend der Pflanzenhöhe die Stengellänge am besten bei 1 g K_2O. Kainit unterscheidet sich in der ersten Kalistaffel kaum von den übrigen Salzen, bringt dann aber mit der Verstärkung der Gabe wieder stark abfallende Werte. Besonders hohe Pflanzen und lange Stengel hat das schwefelsaure Kali erzeugt.

Die morphologische Untersuchung ist im ganzen für die schwefelsauren Salze günstig und für den Kainit schlecht ausgefallen. Besonders stark zeigt sich die schädliche Wirkung der starken Kainitgabe (2 g) in allen Eigenschaften.

c) Die anatomische Beschaffenheit des Stengelquerschnittes.

Abgesehen von der 0-Reihe, von welcher nur 9 Pflanzen untersucht wurden, ist die Grundlage für die vergleichende Betrachtung

nach Anzahl und Prozent.

1,0 g K_2O				2,0 g K_2O			
KMg	Schwefel-saur. Kali	50% Kali	Kainit	KMg	Schwefel-saur. Kali	50% Kali	Kainit
40 12,9	52 17,4	54 17,1	45 14,0	49 15,9	26 8,4	88 28,9	4 1,4
225 82,0	231 77,5	229 72,7	219 68,0	234 76,0	261 84,2	191 62,6	156 54,2
16 5,1	15 5,1	32 10,2	58 18,0	25 8,1	23 7,4	26 8,5	128 44,4
311	298	315	322	308	310	305	288

der übrigen Versuchsreihen infolge der gleichen Anzahl (16) und der sorgfaltigen Auswahl der zur Untersuchung herangezogenen Stengel gegeben.

Die anatomischen Merkmale der 0-Reihe sind für die mangelhafte Ernahrung charakteristisch (Tab. 7a). Die Zahl der Bündel, der Faserzellen im Querschnitt und je Bündel, sowie der radialen Zellreihen und die Fläche einer Faserzelle sind völlig unzureichend. Auffallend war aber die gute Entwicklung der Einzelzellen, die eine genugend starke Wandverdickung und ein kleines Lumen aufwiesen und sich innerhalb des Bündels fest aneinanderfugten, so daß die meisten Bundel als gut geschlossen bezeichnet werden konnten.

Die starke Vergrößerung der anatomischen Ausmaße, welche die Düngung mit NP ohne K bewirkte, ist aus Tabelle 7a klar ersichtlich. Abbildung 2 veranschaulicht im Vergleich mit Abbildung 1 zwar gleichfalls die Vergrößerung der Bundel durch NP, gleichzeitig aber auch eine Verschlechterung der anatomischen Merkmale infolge der bei starkem Kalimangel gewachsenen Pflanzen, nämlich ovale, schlecht schließende, großlumige Zellen und lockere unregelmaßig geformte, mit Interzellularen durchsetzte Bündel. Der Fasergehalt wurde zwar durch den Kalimangel nicht herabgesetzt (S. 260); die Faserbeschaffen-

Tabelle 7a.

Morphologische und anatomische Eigenschaften der Leinpflanzen.

Dickenklasse mm	Stengeldicke mm	Pflanzenhöhe cm	Stengellange cm	Schlankheit	Zahl der Bündel	Faserzellen im Querschnitt	Zahl der Faserzellen je Bündel	radiale Zellreihen 1	2	3	4	Zellreihen im Durchschnitt	Flache einer Faserzelle 560 × vergr. μ^2
					ohne Düngung								
0,75—0,66	0,70	45	45	643	25	293	11,5	5	21	4	—	2,0	293
0,65—0,56	0,62	41	41	661	23	244	10	1	21	1	—	2,0	287

Tabelle 7 b. Morphologische und anatomisc

Dicken-klasse in mm	Durchschnittliche Stengeldicke in mm				Pflanzenhöhe cm				Stengellange cm				Schlankheit			
	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit
über 1,76	1,80	1,82	1,84	1,92	85	94	86	82	62	76	66	66	472	517	454	42[illegible]
1,75—1,36	1,58	1,56	1,53	1,57	85	88	79	76	68	75	63	62	539	568	528	48[illegible]
unter 1,35	1,30	1,28	1,35	1,25	80	85	76	73	63	74	65	62	615	664	536	60[illegible]
																1,0
über 1,76	1,78	1,79	1,89	1,86	82	91	88	80	66	79	73	64	461	510	464	43[illegible]
1,75—1,36	1,51	1,56	1,56	1,56	81	88	87	74	70	76	69	62	518	565	562	47[illegible]
unter 1,35	1,35	—	1,29	1,34	82	—	83	68	68	—	68	56	607	—	643	50[illegible]
																2,0
über 1,76	1,87	—	1,83	1,76	86	—	83	64	74	—	64	50	458	—	449	36[illegible]
1,75—1,36	1,55	1,56	1,55	1,56	82	87	80	58	69	71	66	44	525	557	523	37[illegible]
unter 1,35	1,35	1,34	1,35	1,27	84	88	74	52	70	74	62	41	622	657	541	42[illegible]

heit war aber nach Ausweis der Fasergewebe und -zellen sehr mangelhaft.

Daß die Beseitigung des Kalimangels durch Düngung diese Mängel behoben hat, kann aus dem Vergleich der NP-Reihe mit irgendeiner der Kalireihen mit guten Stroh- und Faserertr']gen in Tabelle 7 ersehen werden. Hiernach wurde durch Kalizufuhr die Zahl der Faserzellen im Querschnitt und je Bündel sowie der radialen Zellreihen und die mittlere Fläche einer Faserzelle erhöht; die Zahl der Bündel blieb die gleiche. Angemessene Kalidüngung hat hiernach nicht nur die Stroh- und Faserertrage gesteigert, sondern auch die Güte des Strohes und der Faser wesentlich verbessert.



Abb. 1.
ON, OP, OK.
Kleine Bündel,
aber gut geschlossen.
560 × vergr.

Eigenschaften der Leinpflanzen.

Zahl der Bündel				Zahl der Faserzellen im Querschnitt				Faserzellen je Bündel				Zellenreihen in radialer Richtung				Fläche einer Faserzelle bei 560 × Vergrößerung μ^2			
KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit	KMg	Schwefls. Kali	50 % Kali	Kainit
K_2O																			
35	35	34	34	843	819	872	953	24	23	26	28	3,3	3,2	3,2	3,3	437	433	589	420
34	33	33	32	714	689	716	786	22	22	22	25	2,9	3,0	2,8	3,1	438	420	451	468
30	28	30	28	575	564	565	604	19	20	19	22	2,7	2,6	2,4	2,5	452	381	458	408
K_2O																			
30	32	32	35	803	768	938	820	27	24	30	23	3,3	3,2	3,4	3,2	483	398	544	604
34	32	32	32	719	680	734	675	22	21	22	21	3,2	2,9	3,0	2,8	449	385	482	494
29	—	30	33	561	—	602	676	19	·	20	21	2,9	·	2,8	3,0	467	—	435	470
K_2O																			
35	—	33	35	956	—	806	809	27	—	25	23	3,5	—	3,5	2,3	557	—	516	514
32	32	34	34	758	726	719	666	24	23	21	20	3,3	3,0	2,9	2,5	512	409	504	535
35	30	27	29	628	566	518	532	18	19	19	19	3,0	2,6	2,6	2,2	410	329	523	373

Welchen Einfluß hatte nun die Form der Kalidüngung auf die anatomische Beschaffenheit des Stengels?

Die Zahl der Bundel im Querschnitt zeigt nur wenig charakteristische Unterschiede (Tab. 7). Wahrend in Tabelle 7 nur die Werte der zu Gruppen zusammengefaßten Dickenklassen angefuhrt sind, unterrichtet Abbildung 3 uber die Anzahl der Faserzellen im Stengelquerschnitt jeder Dickenklasse der drei Versuchsreihen mit schwefelsaurer Kalimagnesia, 50%igem Kalisalz (Chlorkali) und Kainit. Die Zellenzahl wachst hiernach mit



Abb. 2.
1 N, 1 P, OK.
Große Bündel, aber mit lockerem Gefüge.
560 × vergr.

zunehmender Stengeldicke bei allen drei Kaliformen. Der Kurvenverlauf ist insofern charakteristisch, als die Kurven bei allen drei schwefelsauren Kalimagnesiumgaben und bei 0,5 g und 1 g im 50%igen Kalisalz (Chlorkali) einen stetigen Verlauf, bei 2 g K_2O

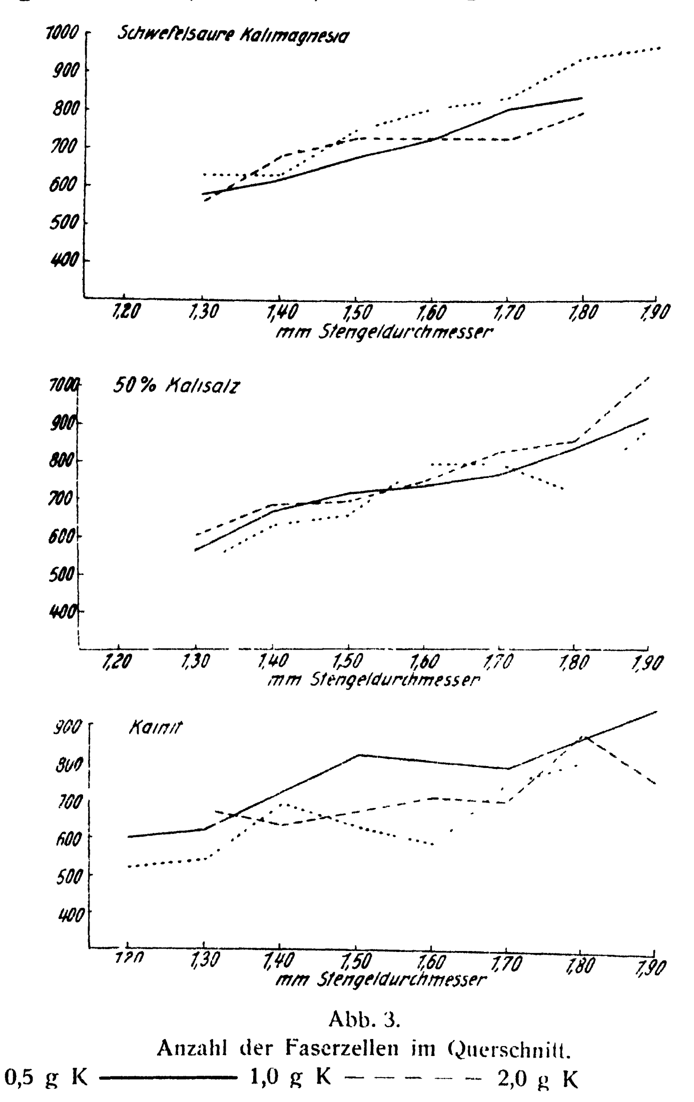


Abb. 3.
Anzahl der Faserzellen im Querschnitt.
0,5 g K ———— 1,0 g K – – – – – – 2,0 g K

im letzteren Salz und bei allen drei Kainitgaben dagegen einen sehr unregelmäßigen Verlauf nehmen. — Das Zahlenwerk sowohl wie die Abbildungen bezeugen, daß die Stärke der Düngung auf die Zahl der Faserzellen je nach der Form der Dungung insofern verschieden gewirkt hat, als die größten und unter sich fast gleichen Zahlen zu finden sind bei:

0,5 g K_2O im Kainit,
1,0 g K_2O im 50%igen Kalisalz (Chlorkali) und
2,0 g K_2O in schwefelsaurer Kalimagnesia.

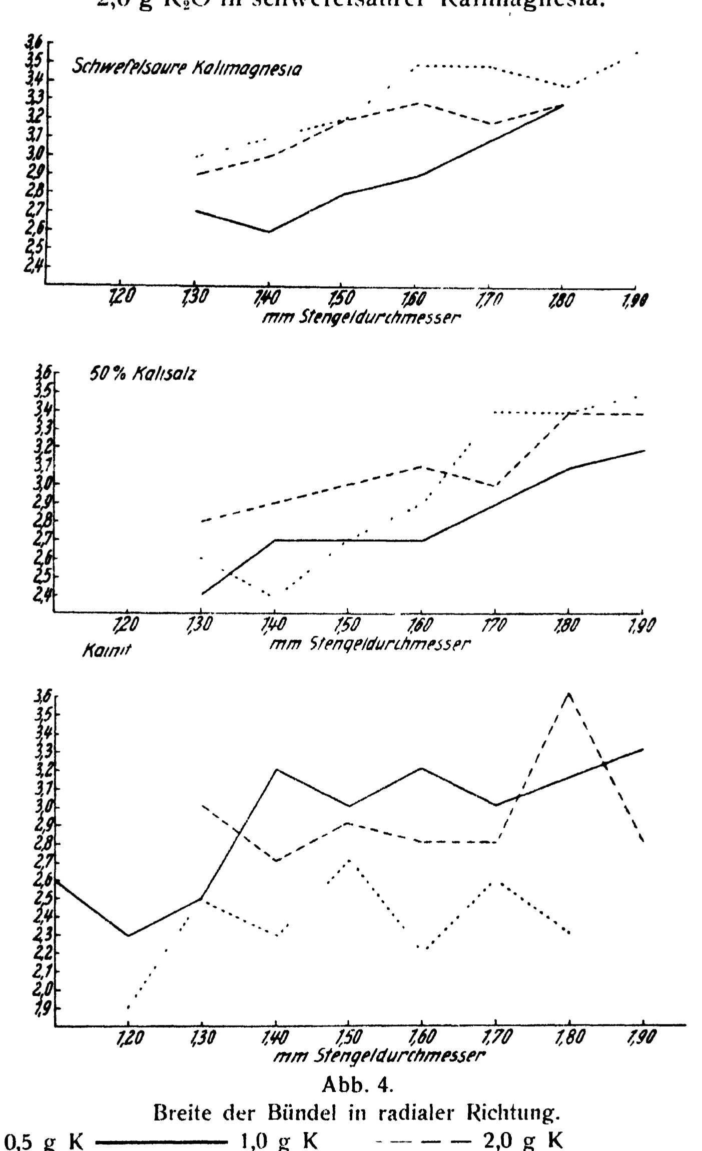


Abb. 4.
Breite der Bündel in radialer Richtung.
0,5 g K ——————— 1,0 g K - — — — 2,0 g K

Der steigenden Kaligabe im Kainit entspricht also eine Abnahme, in schwefelsaurer Kalimagnesia eine Zunahme der Faserzellenzahl. Betrachtet man diese Zahl als ein Kriterium für die Güte der Faser, eine Annahme, deren Richtigkeit nicht bestritten werden dürfte,

so ergibt sich also, daß alle drei Salze günstig gewirkt haben, aber je nachdem bei verschieden starker Düngung.

Obgleich die Faserzellenzahl je Bündel infolge der geringeren Größenordnung weniger deutliche Unterschiede aufweist als die Faserzellenzahl im ganzen Querschnitt, ergibt die vergleichende Betrachtung für beide Merkmale grundsätzlich gleiche Reaktion auf die Kalidüngung wie die Zahl der Faserzellen im Querschnitt.

Die durchschnittliche Breite der Bundel findet ihren Ausdruck in der Anzahl der Zellen, die in Richtung des Radius des Stengelquerschnittes liegen. In Ergänzung zu der Gruppenbildung in Tabelle 7 bringen wir wieder die betreffenden Zahlen für jede Dickenklasse in Abbildung 4. Von einigen Abweichungen bei dem 50%igen Kalisalz (Chlorkali) abgesehen, finden wir hier dasselbe Bild wie bei der Faserzellenzahl, nämlich mit der Kaligabe zunehmende Bündelbreite bei schwefelsaurer Kalimagnesia, dagegen abnehmende bei Kainit und die entsprechende Mittellage (z. Teil) bei dem 50%igen Kalisalz (Chlorkali).

Der Querschnitt einer Faserzelle nahm bei drei Kaliformen (schwefelsaure Kalimagnesia, 50%iges Kalisalz (Chlorkali und Kainit) in den wichtigen Dickenklassen mit steigender K_2O-Gabe zu; sie betrug bei

	0,5 g K_2O	1 g K_2O	2 g K_2O
in schwefelsaurer Kalimagnesia	438	419	512
im 50%igen Kalisalz (Chlorkali)	451	482	504
im Kainit	468	494	535

Während sich das schwefelsaure Kali in der Mehrzahl der anatomischen Merkmale der schwefelsauren Kalimagnesia ziemlich gut anpaßt, nimmt es bez. der Fläche der Faserzellen eine Sonderstellung ein. Bei ihm ist die Zellenflache in allen Dickenklassen am kleinsten und nimmt im Gegensatz zu den anderen Salzen mit steigender Düngung ab. Auch Schmalfuß fand, daß Kaligaben zellvergrößernd wirkten und zwar als Chlorid starker als Sulfat. Somit entsprechen sich die beiderseitigen Ergebnisse.

Neben der statistischen Untersuchung ist der bei der mikroskopischen Beobachtung gewonnene Eindruck aufschlußreich. Die vier Kaliformen fuhrten zu deutlichen Unterschieden in der Gestalt der Bündel und in der Form der Faserquerschnitte.

Durch die Düngung mit schwefelsaurer Kalimagnesia wurden Bündel mit einem runden Umriß gebildet. Die einzelnen Zellen hatten bei allen drei Kaligaben einen eckigen Querschnitt und fügten sich fest und lückenlos aneinander, so daß ein geschlossener Zellverband ein Bündel bildete. Die Einzelzelle besaß neben der eckigen Form eine große Wanddicke mit strichformigem Hohlraum. Eine Verholzung war nicht zu erkennen. Auch die Bündel, die bei Düngung mit 0,5 g K_2O in Form von 50%igem Kalisalz (Chlorkali) und von Kainit entstanden waren, zeigten die gleichen Eigenschaften wie die der schwefelsauren Kalimagnesiareihe.

Dagegen fanden sich bei einer Düngung von 1 g K_2O als 50%iges Kalisalz (Chlorkali) Bastbündel, die durch tangentiales Wachstum bis zur Berührung aneinander gerückt waren. Es waren zwischen den Bündeln keine Rindenzellschichten zu finden. Die Bündel hatten einen etwas unruhigen Umriß. Auch zeigten die Zellen bei 1 und 2 g K_2O in Form von 50%igem Kalisalz (Chlorkali)



Abb. 5.
Düngerwirkung von 1,0 g 50% Kalisalz auf die Bündel.
Diese sind nicht deutlich getrennt, haben rundliche Zellen mit teilweise großen Lamina, Trennungslinie der Membranschicht deutlich sichtbar.

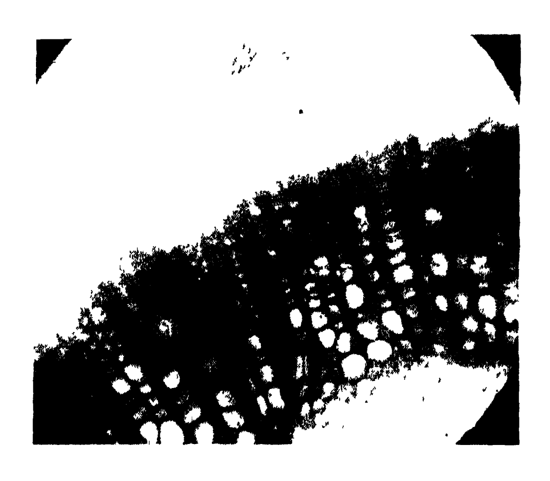


Abb. 6.
Wirkung von 2,0 g K_2O als Kainit.
Lockere Bündel mit ovalen Zellen, großen Lumina und geringe Wandverdickung. Die Membranschichten lösen sich ab, bilden Ausstülpungen in den Lumenteil.

oft eine rundliche Form, und dabei war eine mehr oder minder deutliche Trennungslinie der einzelnen Membranschichten der Faserzellwand zu finden (Abb. 5). Die Lumina waren größer, die Wanddicke verlor dadurch an Stärke. Im Rindenteil fanden sich vereinzelt abgesplitterte Zellen.

Bei den höheren Kainitgaben, besonders bei 2 g K_2O, war die Bündelausbildung eine mangelhafte. Sie hatten einen unruhigen Umriß, rund und ovale Zellen fügten sich lose aneinander, da-

zwischen liegende Interzellularräume lockerten das ganze Bündel stark auf. Es waren nicht nur die Zellwände infolge der großen Lumina äußerst dünn, sondern es lagen auch die Schichtlinien der Membran weit auseinander, trennten sich voneinander und wölbten sich gegen das Innere des Zellumens vor. Viele Zellen waren deformiert und zeigten die Anzeichen des Zerfalls (Abb. 6).

Ein wesentlich anderes Bild lieferte das schwefelsaure Kali. Bei einer Gabe von 0,5 K_2O waren die Bündel im Umriß zerklüftet und durch starke Einbuchtungen und abgerundete Zellen in ihrem Gesamtgefuge erheblich gelockert. Die Lumengroße der Einzelzellen wechselte zwischen eng- und weitlumigen Zellen ab. Auch deformierte Zellen und Verholzungen wurden beobachtet. Im Gesamtquerschnitt zeigte sich häufig ein kleiner Holzkörper und ein großer Stengelhohlraum.

Die Gabe von 1 g K_2O im schwefelsauren Kali brachte Bundel, die teils einen ruhigen Umriß, teils aber auch Einbuchtungen zeig-



Abb. 7. Wirkung von schwefelsaurem Kali (1 g K_2O). Die Beschaffenheit der Bundel ist hier eine ausnahmsweise sehr gute. (Kein Durchschnittsbild, sondern zum Vergleich eines sehr guten Stengels mit schlechteren, s. Abb. 5 u. 6, bestimmt.)

ten. Die Zellen eines Bündels schlossen sich größtenteils eng aneinander, teilweise war eine stark entwickelte Mittellamelle zu beobachten. Die Verholzung beschrankte sich auf die Ecken der Zellen.

Dagegen waren die meisten Bundel bei 2 g K_2O in schwefelsaurer Kalimagnesia in tangentialer und radialer Reichtung gut ausgebildet. Sie hatten einen ruhigen Umriß und einen gut geschlossenen Zellverband ohne nennenswerte Verholzung. Die Zellen zeigten geringe Lumina und dicke Wande (s. Abb. 7, Querschnittsteil aus einem besonders guten Stengel).

Die Beeinflussung der Eigenschaften war demnach beim schwefelsauren Kali entgegengesetzt wie beim Kainit: Hier gute anatomische Merkmale bei der schwachsten Dungung und zunehmende Verschlechterung mit steigenden Dungergaben, dort schlechte Eigenschaften des Stengels bei schwachen Kaligaben und offensichtlich starke Besserung mit steigender Düngung.

Tabelle 8.

Nährstoff- und Dungesalzkonzentration im Gefäß und im Freiland.

	mg K_2O auf 100 g Boden bei			g Düngesalz je Gefäß bei			kg K_2O auf 1 ha bei 20 cm Tiefe bei			kg Düngesalz auf 1 ha bei 20 cm Tiefe bei		
	0,5 g*)	1,0 g*)	2,0 g*)	0,5 g	1,0 g	2,0 g	0,5 g	1,0 g	2,0 g	0,5 g	1,0 g	2,0 g
Schwefels. Kalimagnesia	6,67	13,3	26,6	1,71	3,42	6,84	200	400	800	683,5	1367	2734
Schwefels. Kali	6,67	13,3	26,6	0,97	1,94	3,88	200	400	800	388,5	777	1554
50% Kalisalz	6,67	13,3	26,6	0,94	1,88	3,76	200	400	800	375,5	751	1502
Kainit	6,67	13,3	26,6	3,56	7,12	14,24	200	400	800	1424,5	2849	5998

*) g K_2O je Gefaß in 7,5 kg Bodensandgemisch.

Vergleicht man die Wirkung der vier Kaliformen auf die anatomische Struktur des Leinstengels, so hat die schwefelsaure Kalimagnesia in allen drei Gaben geschlossene und englumige Bundel mit dickwandigen und eckigen Zellen erzeugt. Auch die Gaben von 0,5 und 1 g im 50%igen Kalisalz (Chlorkali) wirkten noch gunstig. Der Kainit hatte in einer Gabe von 0,5 g K_2O Bundel und Zellen von sehr guter Beschaffenheit zur Folge. In hoheren Gaben war seine Wirkung eine negative. Beim schwefelsauren Kali wurde im Gegensatz dazu die bei der schwachen Dungung schlechte Beschaffenheit der anatomischen Merkmale mit steigender Kalizufuhr immer besser.

Zusammenfassung und Schlußbetrachtung.

Zwecks Erfassung der Wirkung des Kaliums auf die Leinpflanze wurden Gefaßversuche mit Faser- und Öllein in einem Bodensandgemisch mit vier Kalisalzen und gestaffelten Gaben ausgeführt. Das Substrat enthielt in 7,5 kg je Gefaß 100 mg K_2O nach Mitscherlich. Der Hochstertrag wurde bereits bei 0,5 g K_2O (der schwachsten Gabe) in allen vier Salzen: schwefelsaures Kalimagnesia, schwefelsaures Kali, 50%iges Kalisalz (Chlorkali) und Kainit erreicht. Erhohte Gaben (1 und 2 g K_2O) fuhrten im Kainit bei Faserlein zu deutlichen bzw. starken, im 50%igen Kalisalz (Chlorkali) (2 g) zu geringen, aber gesicherten Ertragsminderungen. Kainit wirkte bei Öllein auch in der schwachsten Gabe schlechter auf die Strohbildung als die ubrigen Salze und bewirkte bei gesteigerten Gaben eine starkere Ertragsschadigung als bei Faserlein. Die Schädigung muß dem hohen Chlorgehalt des Kainit zugeschrieben werden. Mittlere und starke Gaben (1 g und 2 g K_2O) in den schwefelsauren Salzen wurden von den Pflanzen gut vertragen. Die Dungung mit schwefelsaurer Kalimagnesia beeinflußte den Samenertrag des Ölleins am besten.

Der bereits bei 0 Kali hohe Fasergehalt des Faserleins (21%) wurde durch Kalidungung nicht erhoht, wohl aber durch mittlere und starke Kainit- und starke Chlorkaliumdungung gesenkt. Das Gesamtbild der Fasererträge entsprach also den Stroherträgen.

Die Kalidüngung wirkte auf den Gehalt an Rohfett vorwiegend günstig; besonders trifft dies wieder für die schwefelsaure Kalimagnesia zu; doch war das Maximum auch hier bei 0,5 K_2O erreicht; Kainit war bei stärkeren Gaben auch hier schädlich. Am besten hat auf den Ertrag an Samen und Rohfett die schwefelsaure Kalimagnesia gewirkt. Eine spezifische Wirkung der Salze auf den Rohproteingehalt der Samen wurde nicht beobachtet. Es zeigte sich weiter die Tendenz zur Erhöhung der Jodzahl durch Kalidüngung und bei dem Vergleich der verschiedenen Salze eine Erhöhung dieser Kennziffer durch das schwefelsaure Kali.

Das durch die morphologischen Untersuchungen des Faserleins (Stengeldicke, Pflanzenhöhe, Stengellänge, Schlankheitsziffer) gewonnene Bild entsprach ungefähr dem des Ertrages, fiel also günstig für die schwefelsauren Salze und ungünstig für den Kainit aus. Besonders hohe Pflanzen und lange Stengel erzeugte das schwefelsaure Kali. Im Bereich der nicht schädlichen Gaben führte aber die Beseitigung des Kalimangels durchweg zu einer starken Pflanzen- und Stengelverlängerung, bemerkenswerterweise aber ohne die Dicke der Stengel zu steigern.

Bei den anatomischen Untersuchungen wurden die auf Grund der vorliegenden Erfahrungen für die Qualitatsbeurteilung wichtigsten Merkmale im Stengelquerschnitt, nämlich die Zahl der Faserbundel, der Faserzellen im Querschnitt und je Bündel, die Zahl der radialen Zahlreihen und die Fläche einer Faserzelle ermittelt. Als bemerkenswertes Ergebnis wurde gefunden, daß bei fast gleichem Gesamtfasergehalt sehr beträchtliche Unterschiede im Aufbau der Zellen und Zellkomplexe nicht nur bei dem Vergleich der ungedüngten bzw. Kalimangelreihen mit denen, die Kali erhalten hatten, und zwar erwartungsgemäß zugunsten der letzteren, sondern auch bei der Untersuchung der mit verschiedenen Kalisalzen gedüngten Pflanzen gefunden wurden, so daß auf entsprechende Gehaltsunterschiede in der bei der chemischen Bestimmung nicht faßbaren Bildung technisch wertvoller Langfaser und wenig brauchbarer Kurzfaser zu schließen ist. Die Kalidungung hat offenbar den Gehalt an Langfaser erhöht.

Als eine nur wenig veränderliche Eigenschaft stellte sich die Bündelzahl heraus. Geht man von der begrundeten Annahme aus, daß der Wert des Leinstengels als Rohstoff fur die Spinnerei u. a. von der Zahl der Faserzellen in ihm abhangt, und stutzt man sich weiter auf die im mikroskopischen Bilde sichtbare Anordnung und Gestalt der Einzelzellen und der Faserbundel, so ist im ganzen genommen ein günstiges Resultat fur die schwefelsauren und ein ungünstiges für den Kainit zu verzeichnen. Das 50%ige Kalisalz (Chlorkali) steht mit Annaherung an die Sulfate ungefahr in der Mitte. Dies trifft allerdings in ausgesprochenem Maße nur fur die mittleren und starken Kaligaben zu. Daß die durch zu starke Kainitdungung geschädigten Pflanzen eine schlechte Zellstruktur aufweisen, ist wohl selbstverständlich. Doch ist nicht zu übersehen, daß die schwache Kainitgabe nicht nur auf den Ertrag ebenso gut

wirkte, wie die übrigen Düngergaben, sondern daß auch die anatomische Beurteilung der betreffenden Pflanzen ebenso gut, ja teilweise sogar insofern besser ausfiel, als z. B. die gleich große Anzahl von Faserzellen, welche bereits die schwächste Kainitdüngung bewirkt hatte, in den übrigen Fällen erst bei den stärkeren Düngungen erreicht werden konnte. Letzteres trifft vornehmlich für das schwefelsaure Kali zu, das bei knapper Dosierung qualitativ relativ schlecht wirkte und um so bessere Qualitäten brachte, je stärker die Düngung war.

Die etwaige Schädigung beruht also weniger auf der Salzform als solcher, als in einer zu starken Düngung. In Übereinstimmung mit Schmalfuß wurde weiter gefunden, daß die chlorreichen Salze die Zellengröße im Querschnitt mehr vergrößerten als die Sulfate, was bei sonst gleichen anatomischen Eigenschaften bedeuten würde, daß die Feinheit und Festigkeit der Faser bei Sulfatdüngung eine bessere ist.

Wenn bei den chlorhaltigen Salzen die Stärke der Kalidüngung für etwaige Schädigungen verantwortlich zu machen ist, so liegt es nahe, die Nährstoffkonzentration bei verschiedener Stärke der Düngung zu ermitteln.

In Tabelle 8 sind die entsprechenden Berechnungen je Gefäß und auf 1 ha Feld bei einer Tiefe von 20 cm durchgeführt. Zu berücksichtigen ist bei der Betrachtung der Zahlen die besonders günstige Feuchtigkeitsregulierung in den Gefäßen, die alltäglich auf volle Wassersättigung gebracht wurden, so daß die Konzentration der Nahrstofflösung auf das überhaupt mögliche Maß herabgesetzt wurde. Andererseits wurde im Felde eine gleichmäßig gute Mischung der Salze mit einer 20 cm tiefen Bodenschicht angenommen. Daß die Verhältnisse normalerweise bei Freilandkulturen anders liegen, versteht sich von selbst. Weiter muß das äußerst schwache Sorptions- und Pufferungsvermögen unseres Bodensandgemisches berücksichtigt werden. Der Vergleich von Feld- und Gefäßkultur hat also mancherlei Schwächen.

Nur mit den entsprechenden Einschränkungen kann also die Konzentration, bei der sich Schäden einstellten, aus den Zahlen abgelesen und auf das Freiland übertragen werden. Wir sehen, daß im Gefäß bei 13,3 mg K_2O - 7,12 g Kainit (der mittleren Gabe) Wachstum und Ertrag bereits stark litten, während 26,6 mg K_2O in 6,84 g schwefelsaurer Malimagnesia zu einem vollen Erfolge führten. Daß nicht die Nährstoff- und die Salzkonzentration an sich den Schaden verursachten, sondern die Salzform als solche, ist damit klar erwiesen. Ebenso muß als sicher angenommen werden, daß die eigentliche Ursache der Schädigung der Chloraufnahme durch die Pflanze, die nach anderweitigen Untersuchungen viel stärker ist als die Aufnahme des Sulfatrestes, zuzuschreiben ist. Es ergibt sich weiter, daß Kainitgaben von 14 dz/ha unter den optimalen Bedingungen (grundliche Mischung mit dem Boden, günstige Feuchtigkeit) des Gefäßversuches von Faserlein gut vertragen worden sind. Der Öl-

lein hatte allerdings diese Kainitdüngung schlechter gelohnt als gleich starke Gaben in den übrigen Salzen. Wie wir an einem Dahlemer Feldversuch eingangs zeigen konnten, wirkte eine Kainitgabe von 12,80 dz/ha auf den Stroh- und Faserertrag des Leins noch gut, allerdings weniger als die halbe Gabe, auf den Samenertrag aber ungünstig. Im ganzen betrachtet kann gefolgert werden, daß die schwefelsauren Salze, insbesondere die schwefelsaure Kalimagnesia, zur Düngung des Leins den Vorzug verdienen, chlorreiche Salze in schwächeren Gaben, bei denen die bewiesene Chlorempfindlichkeit des Leins noch nicht eintritt, aber nicht ohne weiteres abzulehnen sind.

Dem Forschungsdienst und der Landwirtschaftlich-technischen Kalistelle sprechen wir zum Schluß unseren besten Dank für die Unterstützung der den Gegenstand dieser Arbeit betreffenden Untersuchungen aus.

Schrifttum:

1. Fabian, H.: Der Einfluß der Ernährung auf die wertbildenden Eigenschaften von Bastfaserpflanzen (Flachs und Nessel). Faserforschung, Leipzig, **7**, 1928, 1.
2. Steigerwald, E.: Über den Einfluß von Chlor und Magnesium als Nebenbestandteile der Kalisalze auf den Öl- und Fasererertrag des Flachses. Die Ernährung der Pflanze, Berlin, **23**, 1927, 282.
3. Schmalfuß, K.: Experimentelle Studien zur Physiologie und Ernährung des Leins im Hinblick auf die Ausbildung von Faser und Öl. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **1** (46), 1936, 1.
4. Opitz, K., K. Rathsack u. E. Morgenroth: Die Bedeutung des Nährstoffverhältnisses bei der Düngung mit mineralischen Düngemitteln. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **4** (49), 1937, 210.
5. Opitz, K.: Kulturversuche mit Flachs in der Versuchswirtschaft Baumgarten. Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Berlin, **36**, 1921, 382.
6. Opitz, K.: Beiträge zur Kultur und Züchtung des Leins, Beiträge zum landwirtschaftlichen Pflanzenbau, insbesondere Getreidebau. Schindler-Festschrift, 1924, 87.
7. Fabian, H.: siehe Nr. 1.
8. Opitz, K.: Die Ernährung und Düngung des Leins. Der Forschungsdienst, Berlin, **1**, 1936, 848.
9. Schmalfuß, K., F. Tobler, E. Egglhuber u. E. Tamm. Vergleichende Untersuchungen zur Beurteilung der Güte der Fasern im Leinstengel. Gemeinschaftsarbeit. Der Forschungsdienst, Berlin, J. 1939, 58. [267]

Über die Wirkung verschiedener Stickstoffdünger in einmaliger und geteilter Gabe im Freilanddüngungsversuch zu Winterweizen auf leichtem Boden.

Von **F. Giesecke** und **K. Schmalfuß** (Ref.)

Aus dem Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin.

Eingegangen: 21. Dezember 1938.

Vor zwei Jahren veröffentlichten wir einen Versuch über die Wirkung des Kalkstickstoffs im Vergleich zu anderen Stickstoffdüngern (1), der in Verhältniszahlen folgendes Ergebnis in Zylinderversuchen mit Weizen auf Dahlemer Boden erbracht hatte.

	Ammon-sulfat	Harn-stoff	Natron-salpeter	Kalk-salpeter	Kalk-stickstoff
$^{3}/_{3}$ der N-Gabe vor der Saat im Herbst 1934 .	100	96	93	89	88
$^{1}/_{3}$ N vor der Saat, $^{2}/_{3}$ N im Frühjahr 1935 als Kopfdungung . . .	100	101	101	96	87

Sämtliche Stickstoffdünger hatten außerdem bei geteilter Gabe höhere Erträge gegeben als bei einmaliger ganzer Gabe im Herbst vor der Saat. Diese Erscheinung hatten wir damals damit erklärt, daß der im Herbst gegebene Stickstoff durch Auswaschung in Form von gegebenem oder gebildetem Nitrat während der Winterruhe der Pflanzen naturgemäß stärker verloren geht als der im Frühjahr gegebene.

Eine Ausnahme bildete allein der Kalkstickstoff. Wir hielten es damals für ausgeschlossen, daß seine Minderwirkung vor allem auch gegenüber den anderen Stickstoffdüngern durch eine Auswaschung von N zu erklären sei, sondern wir vermuteten eine N-Festlegung im Boden in Form von Bakterieneiweiß.

Unsere damalige Arbeit gab den Anlaß zu einer allgemeineren Betrachtung über dieses Problem der Kalkstickstoffwirkung in einer Mitteilung von Rathsack (2). In dieser wurde vor allem darauf hingewiesen, daß bei unseren eingangs genannten Versuchen die Herbstdüngung nur einen Tag vor der Saat gegeben worden war, was natürlich gerade im Hinblick auf den Kalkstickstoff und seine Umsetzungen nicht mit den Maßnahmen und Erfahrungen der Praxis übereinstimmt. Wir hatten dies aber damals aus grundsätzlichen Erwägungen heraus getan. Das gleiche gilt auch für die damalige restliche Kopfdüngung im Frühjahr 1935.

Da uns nun das gesamte Problem noch keineswegs geklärt erschien, haben wir im Jahre 1937 nochmals einen Düngungsversuch angelegt, der sich über eine Reihe von Jahren erstrecken soll und dessen erstes Ergebnis im folgenden mitgeteilt wird.

Es handelt sich um einen Freilanddüngungsversuch mit Dahlemer Boden in Tonzylindern. Die Zylinder sind 1 Meter tief in den Boden eingegraben. Ihre Füllung besteht von 100 bis 90 cm Tiefe aus Dahlemer Untergrund gemischt mit Quarzsand (1 : 1), von 90 bis 80 cm aus Untergrund, von 80 bis 35 cm aus Unterboden (gefüllt im Oktober 1930) und von 35 cm bis zur Oberfläche aus sandiger Krume von der Domäne Dahlem, gefüllt im Juli 1937. Die Zylinderoberfläche beträgt 0,2 qm. Eine Untersuchung der Krume ergab im Mittel 0,632 °/₀₀ C, 0,0645 °/₀₀ N, nach Neubauer 10,2 mg P_2O_5 und 7,5 mg K_2O sowie einen pH-Wert (H_2O) von 6,26.

Die Zylinder liegen in einer nordsüdlich sich erstreckenden Doppelreihe in unserem Drahthaus unmittelbar an dessen Westrande. Wir heben dies deswegen besonders hervor, weil in manchen Jahren, offenbar witterungsbedingt, die West- oder Ostreihen geringe Abweichungen im Pflanzenertrag bringen können, was jeweils beachtet werden muß.

Die Zylinder erhielten als Grunddungung 50 kg P_2O_5/ha als Dikalziumphosphat und 100 kg K_2O/ha als schwefelsaures Kali. Die Höhe der N-Gabe wurde auf 75 kg/ha bemessen, die einmal insgesamt vor der Saat, zum an-

deren nur zu einem Drittel vor der Saat und zu zwei Dritteln als Kopfdüngung gegeben wurde. Die einzelnen N-Dünger waren in den beiden Doppelreihen der Zylinder mit sämtlichen drei Wiederholungen hintereinander angeordnet und zwar so, daß in der Westreihe sämtliche Zylinder mit einmaliger, in der Ostreihe die mit geteilter N-Gabe lagen. Den Abschluß beider Zylinderreihen bildeten je eine Kontrolle ohne N-Düngung. Die Anzahl der Wiederholungen betrug drei. Eine genaue Übersicht über den ganzen Versuch bringt die Tabelle 1.

Tabelle 1.
Übersicht über den ganzen Düngungsversuch 1937/38.

Zylindernummern	Lageplan der Zylinder	Formen der N-Dünger	N-Gaben	Versuchsreihe
207, 209, 211	Ostreihe	Kalksalpeter	1/3 am 29. 9. 37, 2/3 am 2. 3. 38	A_2
208, 210, 212	Westreihe	Kalksalpeter	3/3 am 29. 9. 37	A_1
213, 215, 217	Ostreihe	Kalkharnstoff	1/3 am 29. 9. 37, 2/3 am 2. 3. 38	B_2
214, 216, 218	Westreihe	Kalkharnstoff	3/3 am 29. 9. 37	B_1
219, 221, 223	Ostreihe	Kalkstickstoff	1/3 am 29. 9. 37, 2/3 am 2. 3. 38	C_2
220, 222, 224	Westreihe	Kalkstickstoff	3/3 am 29. 9. 37	C_1
225, 227, 229	Ostreihe	Schwefelsaures Ammoniak + äqu. $CaCO_3$	1/3 am 29. 9. 37, 2/3 am 2. 3. 38	D_2
226, 228, 230	Westreihe	Schwefelsaures Ammoniak + äqu. $CaCO_3$	3/3 am 29. 9. 37	D_1
231, 233, 235	Ostreihe	Schwefelsaures Ammoniak	1/3 am 29. 9. 37, 2/3 am 2. 3. 38	E_2
232, 234, 236	Westreihe	Schwefelsaures Ammoniak	3/3 am 29. 9. 37	E_1
237, 239, 241	Ostreihe	Ohne Stickstoff	—	F_2
238, 240, 242	Westreihe	Ohne Stickstoff	—	F_1

Die Grunddüngung, die Kalkgabe bei den Reihen D_1 und D_2 und die erste N-Düngung (75 bzw. 25 kg/ha in den verschiedenen Formen) wurden am 29. September 1937 gegeben. Die Saat erfolgte am 13. Oktober 1937 mit Winterweizen (Hochzucht v. Arnims Criewener, Stamm 192). Der Weizen lief nach etwa 12 Tagen auf, ohne irgendwelche Unterschiede zwischen den einzelnen Düngungsreihen zu zeigen. Am 2. März 1938 erhielten die Zylinder, die im vorhergegangenen Herbst nur ein Drittel ihrer N-Gabe erhalten hatten, den restlichen Stickstoff (50 kg/ha) in den angegeben Formen als Kopfdüngung.

Wenn bisher die Entwicklung des Weizens gut und auf allen Zylindern gleichmäßig gewesen war, so begannen sich von da ab äußerlich gewisse Unterschiede zu zeigen. Am besten standen (gegen Ende April) die Pflanzen aller Ammonsulfatreihen, dann folgte in absteigender Linie Kalksalpeter in geteilter Gabe, Kalkstickstoff ganze Gabe im Herbst; am schlechtesten von allen Stickstoffdüngern standen die Zylinder mit Kalkstickstoff in geteilter Gabe, bei denen durch die Kalkstickstoffdüngung auf den Kopf im Frühjahr die Pflanzen offenbar ziemlich mitgenommen waren.

Die Ernte des Weizens erfolgte am 1. August 1938. Nach der Ernte wurden aus den einzelnen Zylindern Bodenmischproben aus 0—15 cm Tiefe gezogen, die einigen Untersuchungen dienen sollten. —

Überblicken wir die Ernteergebnisse, die Tabelle 2 enthält, so fällt dabei folgendes auf.

Tabelle 2.
Ernteerträge, N-Gehalte und N-Entzug in den einzelnen Versuchsreihen.

Versuchsreihe	Ernteertrag (wasserfrei) in g je Zylinder			Tausendkorngew. g	Mittlerer N-Gehalt in %		Mittl. N-Entzug in g je Zylinder
	Gesamt	Stroh	Korn		Stroh	Korn	
A_1	289,8 ± 15,7	183,0 ± 9,9	106,8 ± 6,2	48,5	0,468	1,99	2,98
A_2	327,8 ± 14,4	214,1 ± 8,9	113,7 ± 5,5	48,2	0,432	1,81	2,98
B_1	266,3 ± 19,6	168,6 ± 12,1	97,7 ± 8,8	47,7	0,446	2,01	2,67
B_2	276,3 ± 11,0	179,9 ± 6,2	96,4 ± 4,9	48,4	0,389	1,92	2,55
C_1	238,1 ± 9,9	146,3 ± 5,7	91,8 ± 4,2	49,5	0,390	2,01	2,42
C_2	352,6 ± 7,3	158,5 ± 3,5	94,1 ± 4,3	48,1	0,449	2,05	2,64
D_1	302,9 ± 18,0	191,2 ± 12,6	111,7 ± 5,5	50,1	0,468	1,91	3,03
D_2	297,0 ± 10,0	192,9 ± 5,1	104,1 ± 5,5	47,7	0,425	1,94	2,98
E_1	304,2 ± 4,3	193,5 ± 4,2	110,7 ± 0,6	49,9	0,426	1,90	3,23
E_2	290,7 ± 0,6	189,9 ± 3,3	100,8 ± 2,6	49,4	0,411	1,86	2,66
F^1	226,9 ± 11,4	141,9 ± 8,1	85,0 ± 3,4	49,0	0,484	1,99	2,38
F_2	203,6 ± 9,1	130,3 ± 6,0	73,3 ± 3,2	47,2	0,388	1,94	1,93

Bei einmaliger Gabe des gesamten Stickstoffs im Herbst vor der Saat ist in allen Fällen mit einer scheinbaren Ausnahme des Ammonsulfats eine Minderwirkung gegenüber geteilter N-Gabe zu verzeichnen.

Auch zwischen der Wirkung der einzelnen N-Dünger sind beträchtliche Unterschiede festzustellen. So stehen bei einmaliger vollständiger N-Gabe im Herbst an erster Stelle die beiden Ammonsulfatreihen, dann folgen Kalksalpeter und Kalkharnstoff; am schlechtesten hatte der Kalkstickstoff gewirkt. Bei geteilter Stickstoffgabe, wobei zwei Drittel des N im Frühjahr als Kopfdüngung gegeben worden waren, stand weitaus am besten die Kalksalpeterreihe, darauf folgten Ammonsulfat, Kalkharnstoff und zum Schluß der Kalkstickstoff.

Die Tausendkorngewichte und die N-Gehalte in Stroh und Korn zeigten keine bemerkenswerten Unterschiede. Die Zahlen für den N-Entzug bewegen sich in ähnlichem Rahmen wie die Erträge.

In unserer bisherigen Betrachtung haben wir aber den Umstand unberücksichtigt gelassen, daß die beiden Reihen F_1 und F_2, die ohne Stickstoffdüngung geblieben waren, etwas verschiedene Erträge und auch verschiedenen N-Entzug gebracht hatten. Die Westreihe F_1 hatte wohl infolge örtlicher klimatischer Verhältnisse besser abgeschnitten als die Ostreihe F_2, worauf wir schon eingangs kurz hingewiesen haben.

Wenn wir nun diesen Umstand auch bei den einzelnen Stickstoffreihen mit in Rechnung setzen, so können wir zu genaueren Versuchszahlen nur kommen, wenn wir die Erträge und den N-Entzug der ohne Stickstoffdüngung belassenen Reihen F_1 und F_2 jeweils gleich 100 setzen und sämtliche anderen Ergebnisse in Verhältniszahlen darauf beziehen, so daß

sämtliche Ergebnisse der westlichen Zylinderreihe auf F_1, sämtliche Ergebnisse der Ostreihe auf F_2 (östliche Reihe ohne N) als Standard bezogen werden. Dann ergibt sich im allgemeinen das gleiche, nur in den Unterschieden noch wesentlich schärfere Bild als beim Vergleich der bloßen Ertragszahlen (Tabelle 3).

Tabelle 3.

Ernteerträge und N-Entzug in Verhältniszahlen (ohne N = 100); N-Ausnutzung in % der gegebenen Düngermenge nach Abzug von „Ohne N".

Versuchsreihe	Ernteerträge			N-Entzug	N-Ausnutzung %
	Gesamt	Stroh	Korn		
A_1	127,7	129,0	125,7	125,5	40,0
A_2	161,0	164,3	155,1	154,7	70,0
B_1	117,4	118,8	114,9	112,4	19,3
B_2	135,7	138,1	131,5	132,3	41,3
C_1	104,9	103,1	108,0	101,7	2,7
C_2	124,1	121,6	128,4	137,0	47,3
D_1	133,5	134,8	131,4	127,4	43,3
D_2	145,9	148,1	141,9	154,7	70,0
E_1	134,1	136,4	130,2	135,9	56,7
E_2	142,8	145,8	140,7	133,1	48,7
F_1	100,0	100,0	100,0	100,0	
F_2	100,0	100,0	100,0	100,0	

Aus Tabelle 3 läßt sich erkennen, daß bei Verabfolgung der ganzen N-Gabe im Herbst vor der Saat am besten das Ammonsulfat gewirkt hat, dann folgen der Kalksalpeter, der Kalkharnstoff und zum Schluß der Kalkstickstoff, der nur wenig mehr als die Reihe ohne N erbracht hat.

Bei geteilter N-Gabe, wobei zwei Drittel des Stickstoffs als Kopfdüngung gegeben worden waren, liegen die Verhältnisse etwas anders. Hier steht an der Spitze als bester N-Dünger der Kalksalpeter, dann folgen Ammonsulfat, Kalkharnstoff und zum Schluß wieder der Kalkstickstoff.

Was in dieser Tabelle 3 aber noch besonders scharf zum Ausdruck kommt, das ist die Überlegenheit der geteilten N-Gabe gegenüber der vollständigen Stickstoffgabe im Herbst vor der Saat. Diese Überlegenheit der Kopfdüngung ist am schwächsten ausgeprägt beim Ammonsulfat, sie ist stärker beim Kalkharnstoff und beim Kalkstickstoff, am stärksten beim Kalksalpeter.

Zu diesem Versuchsergebnis ist vielleicht noch zu bemerken, daß man in der Praxis aus naheliegenden Gründen niemals etwa Kalksalpeter oder Harnstoff oder die gesamte N-Düngung zur Winterung im Herbst gibt. Wir haben dies nur aus rein wissenschaftlichen und versuchstechnischen Erwägungen heraus getan (vgl. Nr. 1).

Der N-Entzug ist dementsprechend im großen Durchschnitt mit Ausnahme der einen Ammonsulfatreihe erheblich geringer bei Verabfolgung der gesamten Stickstoffmenge im Herbst.

Von besonderem Interesse sind die Zahlen für die N-Ausnutzung (letzte Spalte der Tabelle 3), die aus der als Dünger gegebenen N-Menge und dem N-Entzug durch die Ernte je Zylinder nach Abzug der Werte von den ohne N-Düngung belassenen Zylindern errechnet wurden.

Dabei ergibt sich in allen Fällen mit einer Ausnahme bei Ammonsulfat ohne Kalkung eine bei weitem bessere Ausnutzung des Düngerstickstoffs bei der N-Gabe im Frühjahr gegenüber der ausschließlichen Gabe im Herbst vor der Saat. Den größten Unterschied in dieser Hinsicht zeigt der Kalkstickstoff, der bei ausschließlicher Herbstanwendung nur eine ganz minimale Ausnutzung durch die Pflanze erfährt, bei Anwendung als Kopfdüngung im Frühjahr jedoch z. B. den Kalkharnstoff übertrifft und in einem Falle an das Ammonsulfat heranreicht. Die beste N-Ausnutzung mit 70% zeigten Ammonsulfat mit Kalkgabe und Kalksalpeter bei Frühjahrsanwendung.

Tabelle 4.

Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach der Ernte
(C und N in mg je 100 g Boden).

Versuchsreihe	Gesamt-C	Gesamt-N	Ammoniak-N	Nitrat-N	p_H (H_2O)
A_1	647	48,9	0,6	1,5	6,00
A_2	636	49,3	0,6	1,9	5,65
B_1	645	47,3	0,9	1,2	5,70
B_2	615	48,8	0,9	0,3	5,76
C_1	653	47,0	0,6	0,9	5,94
C_2	655	48,1	0,6	3,1	6,08
D_1	643	48,9	0,6	1,3	5,52
D_2	635	48,7	0,9	0,9	5,62
E_1	617	48,5	0,9	0,6	5,48
E_2	647	48,4	0,6	1,2	5,50
F_1	625	48,1	0,9	0,3	5,86
F_2	637	47,2	0,6	0,6	5,80

Vor einem zusammenfassenden Überblick über den ganzen Versuch seien noch kurz die Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach der Ernte betrachtet (s. Tabelle 4). Die Gehalte an Gesamt-C, Gesamt-N sowie an Ammoniak und Nitrat-N zeigen in den einzelnen Reihen praktisch keine Unterschiede. Was nur auffällt ist die Tatsache, daß sich der N-Gehalt des Bodens gegenüber seinem ursprünglichen Gesamt-N-Gehalt beim Einfüllen in die Zylinder sehr wesentlich vermindert hat. Es muß also offenbar eine sehr starke Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden stattgefunden haben, was ja auch schon in dem beträchtlichen N-Entzug der ohne N-Düngung belassenen Reihen (s. Tabelle 2) zum Ausdruck kommt.

Eventuelle Einwände, daß der Boden in den Zylindern sich nicht genügend gesetzt haben könnte, sind nicht stichhaltig. Der Boden wird beim

Füllen unserer Zylinder stets fest gepackt und angedrückt. Außerdem lagen in unserem Fall Untergrund und Unterboden bereits 7 Jahre in den Zylindern. Wir verweisen auch noch auf unsere Versuche vor 3 Jahren (1), die auf Dahlemer Boden, der von 1928—1934 bereits in den Zylindern gelagert hatte, die gleichen Ergebnisse erbracht hatten wie unsere jetzigen.

Naturgemäß haben die einzelnen Stickstoffdünger auch die Bodenreaktion in entsprechender Weise beeinflußt, was die pH-Werte erkennen lassen. —

Suchen wir nun nach einer Erklärung für die sehr verschiedene Stickstoffwirkung in dem vorstehend geschilderten Versuch, so ist folgende Ursache offenbar die nächstliegende, nämlich die teilweise Auswaschung in Form von mit der Düngung gegebenem oder im Boden durch Nitrifikation gebildetem Nitratstickstoff aus dem Boden in dem für die Pflanzen nicht mehr erreichbaren Untergrund.

Diese Erklärung trifft sicher zu für den Kalksalpeter. Sie trifft wahrscheinlich auch ohne weiteres zu für den Kalkharnstoff und für das Ammonsulfat. Der Kalkharnstoff ist offenbar noch im Herbst (Reihe B_1) in erheblichem Maße nitrifiziert und das gebildete Nitrat dann ausgewaschen worden. In gleicher Weise gilt dies für das Ammonsulfat, bei dem wenigstens teilweise auch eine Überlegenheit der Frühjahrsgabe (Tabelle 3) nicht zu verkennen ist.

Ein Problem für sich bildet aber der Kalkstickstoff. Wir hatten in unserer ersten Arbeit (1, S. 354/355), die übrigens durch diese vorliegende Mitteilung in allen wesentlichen Punkten bestätigt erscheint, bereits zum Ausdruck gebracht, daß nach dem Ergebnis unserer damaligen Umsetzungsversuche bei den Kalkstickstoffreihen eine Auswaschung von N in Form von Nitrat ausgeschlossen schien. Wir vermuteten damals, daß ein Teil des Kalkstickstoff-N im Boden zeitweise in Form von Bakterieneiweiß festgelegt würde und erst später wieder zur Wirkung käme.

Durch unsere jetzigen Versuche, in denen die Unterschiede im Ertrag, im N-Entzug und der N-Ausnutzung in den Kalkstickstoffreihen bei Herbst- und bei Frühjahrsgabe wesentlich größer sind als bei dem Versuch vor 3 Jahren, werden wir jedoch zu der Auffassung gedrängt, daß eine N-Festlegung in diesem Maße durch Bodenmikroorganismen nicht in Frage kommen kann, wie wir damals vermuteten.

In diesem Zusammenhang ist auch noch hervorzuheben, daß wir im Herbst 1937 die Kalkstickstoffdüngung mit den übrigen Stickstofformen 2 Wochen vor der Weizeneinsaat gegeben hatten, so daß also Einwände wegen zu später Gabe und dadurch nicht hinreichend möglicher Umsetzung nicht gemacht werden können.

Was ist also mit dem im Herbst gegebenen Kalkstickstoff vor sich gegangen, daß er so schlecht zur Wirkung kam? Die Erklärung dafür muß, nach der heutigen Lage des Problems, in folgendem gesucht werden:

1. Der in den Boden eingebrachte Kalkstickstoff (bzw. das Kalziumzyanamid) zerfällt in der wässerigen Bodenlösung bzw. im feuchten Boden sehr rasch in Zyanamid und Kalziumhydroxyd (vgl. 3, S. 283/84; 4). Durch den Boden wird das Kalzium schnell völlig absorbiert, während das freie Zyanamid leicht beweglich und kaum absorbiert im Bodenwasser verbleibt.

2. Da nun die Hydrolyse des Zyanamids zu Harnstoff und dessen Ammonifikation im wesentlichen mikrobielle Prozesse sind (4), das Mikroorganismenleben im Boden aber während der Herbst- und Wintermonate infolge der niedrigen Temperaturen einen Tiefstand erreicht und damit natürlich auch die Umsetzungsvorgänge aller Art im Boden erlahmen, wird das Zyanamid in dieser Zeit nur sehr schwer oder sehr langsam abgebaut werden (vgl. 1, S. 352). Auf keinen Fall dürfte als letzte Stufe der Umsetzung des Zyanamids während dieser Zeit schon Nitrat auftreten.

3. Durch die herbstlichen und winterlichen Niederschläge und infolge Mangels einer wesentlichen Wasserverdunstung aus dem Boden in dieser Zeit bzw. Fehlens eines Wasserverbrauchs durch die Pflanze, wird anzunehmen sein, daß in unserem leichten Dahlemer Sandboden — denn nur auf diesen erstrecken sich unsere Versuche — die Wasserbewegung in der Hauptsache nach unten sich vollzieht und daß damit die im Wasser gelösten Substanzen ausgewaschen werden.

Dazu gehört neben dem Nitrat ohne Zweifel auch das unzersetzte Zyanamid!

Zu dieser Anschauung werden wir neben der schon erwähnten leichten Auswaschbarkeit des Zyanamids aus dem Boden (s. o.) vor allem auch durch folgende Beobachtung gedrängt:

Die Reihe C_2 unseres hier mitgeteilten Versuches, die zwei Drittel ihrer N-Gabe in Form von Kalkstickstoff als Kopfdünger im Frühjahr 1938 erhalten hatte, erbrachte ein in jeder Hinsicht besseres Ergebnis als die Reihe C_1, die die gleiche N-Menge in gleicher Form zur Gänze schon im Herbst 1937 vor der Saat erhalten hatte. Trotz einer merkbaren anfänglichen Schädigung der Pflanzen durch die Kalkstickstoffkopfdüngung — was an sich ohne jede Bedeutung ist — hatten diese aber einen besseren Ertrag gebracht.

Die gleiche Erscheinung hatten wir auch schon in unserem Versuch vor 3 Jahren beobachten können, wenn auch damals nicht in dem ausgeprägten Maße. Wir hatten aber auch damals die herbstliche N-Düngung erst unmittelbar vor der Saat gegeben und nicht schon zwei Wochen vorher wie jetzt!

4. Es liegt auch noch im Bereich der Möglichkeit, daß von dem im Boden verbleibenden Zyanamid im Verlauf der Wintermonate ein gewisser Teil zu Dizyandiamid polymerisiert und dadurch als unverwertbar angesehen werden muß. Doch dürfte es sich dabei nur um verhältnismäßig unwesentliche Mengen handeln, wobei die Frage der Bodenart und Fruchtart eine weitere Problemstellung zu sein scheint.

Fassen wir also unsere Ergebnisse zusammen, so ist in Übereinstimmung mit den bisherigen Erfahrungen die Verabreichung der gesamten Stickstoffgabe zur Winterung vor der Saat im Herbst auf leichtem Boden, vor allem in Form von Kalksalpeter, aber auch als Ammonsulfat, zu verwerfen.

Gewisse Schwierigkeiten können sich auf leichten Böden aber auch bei der Anwendung von Kalkstickstoff zur Winterung bilden. Eine gewisse Gegenwirkung gegen die dabei auftretenden Verluste wird sich vor allem erstens durch eine gute Humuswirtschaft auf solchen Böden bewirken lassen, die deren Wasserhaushalt in Ordnung hält, und zweitens durch eine sorgsame Beachtung der Temperaturverhältnisse im Boden, die für die Umsetzung des Zyanamids ausschlaggebend sind, sonst ist eine Herbstdüngung mit Kalkstickstoff auf leichtem Boden nur mit Vorsicht anzuwenden.

Zusammenfassung.

1. In einem Freilanddüngungsversuch in Zylindern mit leichtem, schwach sauren Sandboden wurde die Wirkung verschiedener Stickstoffdünger zu Winterweizen geprüft, indem einmal die gleiche Stickstoffmenge im Herbst vor der Saat, im zweiten Falle nur ein Drittel der Menge vor der Saat, zwei Drittel der betreffenden N-Düngung hingegen im Frühjahr als Kopfdüngung angewandt wurden.

2. Die geteilte N-Gabe mit Frühjahrskopfdüngung war bei dem angewandten leichten Boden und dem herrschenden Klima in allen Fällen der alleinigen Herbstgabe in bezug auf Erträge und Stickstoffausnutzung überlegen.

3. Als Ursache der Unterlegenheit der alleinigen Herbstgabe wird in allen Fällen eine Stickstoffauswaschung in den Untergrund angenommen. Diese Auswaschung erfolgt im allgemeinen als Nitratstickstoff; nur der Kalkstickstoff wird in diesem Falle wahrscheinlich als unzersetztes Zyanamid ausgewaschen, wenn die Temperaturverhältnisse für seine mikrobielle Umsetzung im Boden nicht günstig waren, und zwar natürlich um so erheblicher, je frühzeitiger er gegeben wurde.

Schrifttum.

1. Giesecke, F., u. K. Schmalfuß: Über die Wirkung des Kalkstickstoffs im Vergleich zu anderen Stickstoffdüngern auf den Pflanzenertrag und über die Umsetzungen des Stickstoffs in leichtem Boden. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **1**, 1936, 348—355.
2. Rathsack, K.: Zur Wirkung des Kalkstickstoffs im Vergleich zu anderen Stickstoffdüngern auf den Pflanzenertrag und über die Umsetzungen des Stickstoffs in leichtem Boden. Ebenda, **2** 1936/37, 327—336.
3. Kappen, H.: Die chemischen Veränderungen des Kalkstickstoffs bei der Düngung. Zbl. f. Bakt., Jena, II, **22**, 1909, 281—298.
4. Schmalfuß, K.: Der Abbau des Zyanamids. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **9/10**, 1938, 273—305.

[270]

Über die Erhaltung des Stickstoffgehalts der Jauche durch Zusatz von Superphosphat und Torf.

Von **K. Nehring,** Rostock.

Eingegangen: 5. 8. 1938.

Der Hauptwert der Jauche liegt in seinem Gehalt an Nährstoffen, vor allem in seinem Stickstoffgehalt begründet. Man hat daher der Frage der Erhaltung des N-Gehalts der Jauche von jeher in der Agrikulturchemie besondere Aufmerksamkeit zugewandt und auf verschiedene Art und Weise versucht, diesen zu erhalten. Voraussetzung überhaupt für die Gewinnung einer nährstoffreichen Jauche ist die Erfüllung der Forderung von F. v. Soxleth, die tierischen Ausscheidungen, den Kot und den Harn, gesondert für sich aufzufangen, da andernfalls bei den verschiedenartigen Gärungsvorgängen große N-Verluste auftreten können.

Der Stickstoff liegt bekanntlich im Harn größtenteils in Form von Harnstoff vor, der bei der bald einsetzenden Gärung schnell in Ammonkarbonat übergeht. Die N-Verluste, die bei der Gewinnung und Aufbewahrung der Jauche auftreten, sind vornehmlich durch die Flüchtigkeit dieses Ammonkarbonats bedingt.

In dem frischen Rinderharn, der die Hauptmenge der Jauche liefert, liegt der N-Gehalt im Durchschnitt bei 8–12 g im Liter. Der N-Gehalt der Jauche ist jedoch gewöhnlich wesentlich niedriger. Stutzer (1) wie Wagner (2) geben auf Grund ihrer Untersuchungen Durchschnittswerte von 2–3 g N je Liter an. Das bedeutet also, daß der weitaus größte Teil des N-Gehaltes infolge der Flüchtigkeit des Ammonkarbonats während der Gewinnung und Aufbewahrung der Jauche verloren gegangen ist.

Man hat prinzipiell auf zwei Wegen versucht, die Verluste an Stickstoff bei der Jauchegewinnung zu vermeiden oder zum mindesten stark herabzusetzen. Einmal muß man dafür sorgen, daß der Harn rasch abläuft und die gesammelte Jauche in der Jauchegrube durch einen guten Abschluß möglichst luftdicht abgeschlossen wird, wobei durch die sich bei der Gärung entwickelnde Kohlensäure das Entweichen des NH_3 behindert wird. Daß es auf diese Weise möglich ist, eine sehr N-reiche Jauche zu gewinnen, zeigt das von Chr. Ortmann in Schependorf (3) ausgearbeitete Verfahren, bei dem nach den Angaben von R. Heinrich (4) Jauchen mit einem N-Gehalt von 7–11 g gewonnen wurden. Der andere Weg ist, durch Zusatz von chemischen Substanzen die N-Verluste herabzusetzen. Man hat hierzu einmal Antiseptika verwandt, um die bakteriellen Umsetzungen und damit die Bildung des löslichen Ammonkarbonats zu verhindern, und fernerhin Stoffe, die auf chemischem Wege das Ammoniak binden sollten. Nur auf letzterem Wege hat man gewisse günstige Wirkungen erzielen können. Man hat hierzu Schwefelsäure, Phosphorsäure, Natriumbisulfat, Superphosphat, Gips, Kainit und andere Stoffe verwandt[2]). Aber im allgemeinen steht man dem Zusatz von chemischen Mitteln zur Erhaltung des N-Gehalts bisher verhältnismäßig ablehnend gegenüber [Honcamp(5), Ruschmann (6)].

Wenn man nun heute die Verhältnisse in der landwirtschaftlichen Praxis in bezug auf die Pflege der wirtschaftseigenen Düngemittel betrachtet, so ist unverkennbar, daß in der Stallmistgewinnung durch Einführung der neuzeitlichen Stapelverfahren beträchtliche Fortschritte gemacht sind. Auf dem Gebiet der Jauchegewinnung muß man jedoch feststellen, daß die Verhältnisse noch vielfach so ungünstig liegen, wie vor 40 Jahren, als Soxleth seine

---

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/4b des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Gabriel Hildeshein.

[2]) Von einer Angabe der umfangreichen Literatur sei hier Abstand genommen, da in der nächsten Zeit ein zusammenfassendes Sammelreferat hierüber im „Forschungsdienst" erscheinen soll.

Forderung von dem getrennten Auffangen und Bearbeiten von Stallmist und Jauche aufstellte. Wenn man eine Anzahl von Jaucheproben untersucht, so ergibt sich größtenteils, daß der N-Gehalt recht niedrig liegt. So wurde bei Untersuchungen, die von mir in den Jahren 1933—1935 in Ostpreußen durchgeführt wurden, im Durchschnitt ein N-Gehalt von 3 g im Liter festgestellt, bei neueren Untersuchungen in Mecklenburg, bei denen allerdings nur eine geringe Anzahl von Proben zur Untersuchung kam, ein N-Gehalt von ungefähr 2,5 g. Dies sind Zahlen, die nicht wesentlich von den von Stutzer oder Wagner gefundenen Werten abweichen.

Wie groß die Stickstoffmengen sind, die bei einer derart ungenügenden Jauchebehandlung für die Landwirtschaft verloren gehen, soll folgende kurze Überlegung zeigen: Bei einer Jauchemenge von $2^1/_2$ cbm je Tier und Jahr ergibt sich bei einem N-Gehalt von 8 g je Liter eine N-Menge von 20 kg im Jahr. Bei einer Anzahl von 15 Millionen Tieren kommt man auf eine Menge von 300 Millionen kg N oder 300000 Tonnen. Von dieser Menge gehen heute noch immer etwa $^2/_3$ verloren, d. h. rund 200000 Tonnen N. Es müßte möglich sein, von diesen 200000 Tonnen N durch geeignete Maßnahmen die Hälfte zu erhalten.

Es ist selbstverständlich, daß man heute der Gewinnung einer guten Jauche und der Erhaltung der in dieser befindlichen Nährstoffe wieder besondere Aufmerksamkeit zuwendet. Deshalb ist auch die Frage der N-Erhaltung der Jauche durch Zusatz chemischer Stoffe in die Arbeiten des Forschungsdienstes einbezogen worden. Es steht hierbei die Verwendung des Superphosphats im Vordergrund, weil dieses ein Stoff ist, der sowieso im landwirtschaftlichen Betriebe verwandt wird und weil hierdurch außerdem die Möglichkeit gegeben ist, die einseitigen Nährstoffverhältnisse der Jauche durch das Hineinbringen der Phosphorsäure zu verbessern und ein günstigeres Nährstoffverhältnis zu schaffen. Des weiteren wurde auch die Wirkung des Torfs im Zusammenhang mit der Anwendung des Superphosphats in den Kreis der Untersuchungen einbezogen. Die Verwendung des Torfs ist in der Hinsicht von besonderem Interesse, als in einer Reihe von Betrieben keine ordnungsgemäße Jauchegrube vorhanden und bei Anwendung von Torf die Möglichkeit gegeben ist, die Jauche für sich aufzufangen und den gewonnenen N-reichen Jauchetorf zu wertvollem Torfkompost zu verarbeiten und damit unsere Humuswirtschaft zu verbessern.

Die Untersuchungen, über die hier berichtet werden soll, schließen sich an die Arbeiten von Prof. Wießmann in Jena an, die von ihm im Jahre 1935 durchgeführt worden sind. Es sei daher zunächst über diese Untersuchungen von H. Wießmann, da sie nicht mehr von ihm veröffentlicht werden konnten, berichtet.

Diese Untersuchungen sollten die Frage klären, welche Mengen von Superphosphat im Gemisch mit Torf notwendig sind, um die Stickstoffverluste bei der Jauchegewinnung möglichst herabzusetzen.

Es wurden jeweils 1,5 kg Torf mit der entsprechenden Menge an Superphosphat gemischt und zu diesem Gemisch 8,5 kg Rinderharn hinzugegeben. Die Jauchemenge entsprach also der 5,7-fachen Menge an Torf. Die angewandten Superphosphatmengen betrugen auf die Jauchemenge bezogen

2,5 % Superphosphat
5,0 % „
7,5 % „
10,0 % „

Die benutzte Jauche enthielt 7,50 g Gesamt-N je kg und
2,39 g NH_4-N je kg.

Das Ansetzen der Gefäße geschah am 25. Juni 1935. Nach ungefähr einem Monat und nach drei Monaten wurden Proben entnommen und auf ihren N-Gehalt untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchungen läßt sich wie folgt zusammenfassen:

Übersicht 1.

N-Verluste in Prozenten.

	Zusatz von Superphosphat %	Nach 1 Monat		Nach 3 Monaten	
		Reaktion	N-Verluste %	Reaktion	N-Verluste %
Jauchetorf	—	alkalisch	16,5	alkalisch	41,6
„	2,5	alkalisch	16,9	alkalisch	29,6
„	5,0	alkalisch	17,8	neutral	20,3
„	7,5	schwach sauer	9,6	sauer	10,8
„	10,0	schwach sauer	4,9	sauer	8,6

Wie diese Übersicht zeigt, ist der N-Verlust bei den unbehandelten Proben ein recht hoher. Während er nach einem Monat 17% beträgt und nicht höher liegt als bei Zusatz von 2,5 und 5% Superphosphat, ist er nach dreimonatlicher Lagerung auf über 40% angestiegen. Durch den Zusatz des Superphosphats waren bei der dreimonatlichen Lagerung die Verluste wesentlich herabgesetzt. Bei 2,5% Zusatz liegen sie bei ungefähr 30%, bei 5% bei ungefähr 20%, und bei Zusatz von 7,5 resp. 10% Superphosphat sind sie auf etwa 10% zurückgegangen. Es ist also gelungen, durch den Zusatz des Superphosphats die N-Verluste bei der Aufbewahrung in starkem Maße herabzusetzen, wobei Unterschiede zwischen 7,5 und 10% Zusatz praktisch kaum noch bestehen. Die Reaktion ist hier in beiden Fällen schwach sauer bis sauer geworden.

Mit dem hier erhaltenen Material wurden weiterhin Verdunstungsversuche durchgeführt, um festzustellen, wieweit sich der Zusatz von Superphosphat auf diese Verhältnisse auswirkt. Es wurde hierzu der Jauchetorf nach Abschluß der Lagerungsversuche ausgebreitet liegen gelassen, bis einmal 25% der Feuchtigkeit und dann weiterhin 50% verdunstet waren. Aus den jeweils durchgeführten N-Bestimmungen ergibt sich folgendes Bild:

Übersicht 2.

N-Verluste durch Verdunstung in %.

	Zusatz von Superphosphat	Bei H_2O-Verlust	
		von zirka 25%	von zirka 50%
Jauchetorf	—	40,7	56,2
„	2,5	23,3	32,7
„	5,0	10,0	8,8
„	7,5	0	0
„	10,0	0	0

Bei dem Jauchetorf ohne Zusatz von Superphosphat sind die N-Verluste durch Verdunstung sehr hoch; sie erreichen 40 resp. 56%. Unter der Einwirkung der zugesetzten Superphosphatgaben gehen sie stark zurück; bei Zusatz von 5% betragen sie nur noch 10% und bei 7,5 bzw. 10% Zusatz sind sie praktisch 0

geworden. Dies gibt uns den deutlichen Hinweis, daß der Einfluß des Superphosphats sich nicht nur auf die Zeit der Aufbewahrung erstreckt, sondern auch von großem Einfluß auf die Verluste während der Ausbringung der Jauche sein kann.

Unter Berücksichtigung der Verluste bei der Aufbewahrung der Jauche und bei der Verdunstung lassen sich folgende N-Gehalte, bezogen auf 1 kg des Ausgangsmaterials, berechnen:

N-Gehalt in g auf 1 kg Ausgangsjauche bezogen.

	Zusatz von Superphosphat %	Nach Verdunstung von	
		25 % H_2O	50 % H_2O
Jauchetorf	—	2,60	1,90
"	2,5	3,88	3,55
"	5,0	5,38	5,45
"	7,5	6,70	6,70
"	10,0	6,86	6,86

Diese Zahlen kennzeichnen ohne weiteres den großen Einfluß, den der Zusatz des Superphosphats auf die N-Verluste der Jauche ausgeübt hat. Während im unbehandelten Jauchetorf nur noch 2 g N auf 1 kg Jauche vorhanden sind, beträgt die N-Menge bei starkem Zusatz von Superphosphat 5,5—6,8 g N.

Nach dem plötzlichen Tode von Prof. Wießmann wurden diese Arbeiten von mir fortgesetzt und in Verarbeitung der hier erhaltenen Ergebnisse in verschiedener Richtung erweitert. Diese Untersuchungen, die von mir im Jahre 1936 in Jena eingeleitet und in Rostock fortgeführt wurden, sollten folgende Fragen klären:

I. Konservierungsversuche.

1. Wie hoch muß die Gabe an Superphosphat gewählt werden, um die Verluste an N in der Jauche auf ein möglichst geringes Maß herabzusetzen.
2. Bestehen Unterschiede in der Wirkung von Superphosphat und Doppelsuperphosphat in bezug auf die Erhaltung des N-Gehalts der Jauche?
3. Wie wirkt sich der Zusatz von Torf in Verbindung mit Superphosphat und Doppelsuperphosphat auf die Erhaltung des Jauchestickstoffs aus?

Durch Untersuchungen auf den Gehalt an Gesamt-N und NH_4-N sollte versucht werden, einen Einblick in die Wirkung des Superphosphats und Doppelsuperphosphats auf die N-Umsetzungen in der Jauche zu bekommen.

II. Versuche über die N-Verluste bei Unterbringung der Jauche.

Es sollte festgestellt werden, wie die N-Verluste bei oberflächlicher Unterbringung der Jauche bzw. des Jauchetorfs durch die verschiedenen Zusätze beeinflußt werden.

III. Vegetationsversuche.

Mit dem bei den Konservierungsversuchen erhaltenen Material sollten Gefäßversuche durchgeführt werden, um die Auswirkung der verschiedenen Zusätze auf die Erträge und auf die N-Aufnahme zu verfolgen.

Versuchsdurchführung.

I. Konservierungsversuche.

Es wurden hierzu bestimmte Jauchemengen resp. Jauchetorf mit steigenden Mengen an Superphosphat und den entsprechenden Mengen an Doppelsuperphosphat (bezogen auf gleiche Mengen wasserlöslicher P_2O_5) versetzt. Das Doppelsuperphosphat wurde in diese Untersuchungen mit einbezogen, weil hier einmal die anzuwendende Menge nur etwa die Hälfte beträgt und weiterhin, weil aus verschiedenen Gründen anzunehmen war, daß es stärker wirken würde als das Superphosphat.

Außerdem wurde bei den Jaucheversuchen eine Versuchsreihe eingeschaltet, um die Wirkung einer Ölschicht, d. h. des reinen Luftabschlusses auf die N-Verluste feststellen zu können.

Die Versuchsdurchführung im einzelnen ergibt sich aus der folgenden Zusammenstellung:

1. Jauche ohne Zusatz . . . . 2 Gefäße
2. „ mit Öl überschichtet . . . . 2 „
3. „ + Superphosphat 2,5 % . . . . 2 „
4. „ + Superphosphat 5 % . . . . 2 „
5. „ + Superphosphat 7,5 % . . . . 2 „
6. „ + Doppelsuperphosphat entspr. 2,5 % Superphosphat . 2 „
7. „ + Doppelsuperphosphat entspr. 5 % Superphosphat . 2 „
8. „ + Doppelsuperphosphat entspr. 7,5 % Superphosphat . 2 „

9. „ + Torf . . . . 3 „
10. „ + Torf + Superphosphat 2,5 % . . . . 3 „
11. „ + Torf + Superphosphat 5 % . . . . 3 „
12. „ + Torf + Superphosphat 7,5 % . . . . 3 „
13. „ + Torf + Doppelsuperphosphat 2,5 % *) . . . . . . 3 „
14. „ + Torf + Doppelsuperphosphat 5 % . . . . 3 „
15. „ + Torf + Doppelsuperphosphat 7,5 % . . . . 3 „

*) Das bedeutet in folgendem immer entsprechend der Menge von 2,5 % Superphosphat usw.

Zur Gewinnung der Jauche wurde den Kühen möglichst wenig Einstreu gegeben, damit der Harn schnell abfließen konnte. Dieser wurde in einer kleinen Vorgrube im Stall, die alle paar Stunden ausgeschöpft wurde, gesammelt. Zur Gewinnung der notwendigen Jauchemenge (ungefähr 600 Liter) wurden etwa 2 Tage gebraucht. Die Zusammensetzung der Jauche wie des Torfmulls war folgende:

	Jauche %	Torfmull %
NH_4-N	0,390	—
Gesamt-N	0,551	0,66
P_2O_5	0,041	0,02
K_2O	0.580	0.13

Der N-Gehalt der Jauche liegt nicht allzu hoch, aber auch die Untersuchung von direkt aufgefangenem Harn ergab nur einen Gehalt von 0,62 und 0,65 %. Trotz der Kürze der Zeit hat schon ein recht beträchtlicher Umsatz des Harnstoffs zu NH_4-N (über 70 %) stattgefunden.

Das verwendete Superphosphat bzw. Doppelsuperphosphat wiesen folgende Gehalte auf:

Superphosphat 17,96 % P_2O_5 H_2O-löslich
Doppelsuperphosphat 44,28 % P_2O_5 H_2O-löslich 47,03 % P_2O_5-Gesamt.

Zur Durchführung der Versuche wurden zylindrische Glasgefäße von ungefähr 18 l Inhalt verwandt. In diese wurden je 14 kg Jauche eingefüllt und vorsichtig die erforderlichen Mengen an Superphosphat unter Durchmischen zugesetzt. Die Vermischung der Jauche mit dem Torfmull und zwar 9 kg Jauche + 1,40 kg Torf und den erforderlichen Mengen an Superphosphat und Doppelsuperphosphat wurde in einer großen Wanne vorgenommen und der Jauchetorf dann quantitativ in die Glasgefäße übergebracht. Das Volumen des Jauchetorfs entsprach etwa dem der reinen Jauche, so daß der Abstand von dem oberen Glasrand der gleiche war. Die Gefaße wurden in einem ungeheizten Schuppen aufgestellt.

Der Ansatz erfolgte am 12. 3. 1936,
die erste Probenahme am 27. 4. 1936,
die zweite Probenahme am 28. 6. 1936.

Durch Feststellung des Gewichts wurden die Verdunstungsverluste bestimmt. In den Proben selbst wurde der Gehalt an Gesamt-N wie an NH_4-N festgestellt und daraus der Verlust an Stickstoff errechnet. Die Ergebnisse sind in der Übersicht 3 zusammengestellt*).

Wie aus dieser Übersicht hervorgeht, sind die Verluste bei der ersten Probenahme nach ungefähr 6 Wochen noch verhältnismäßig gering, wahrscheinlich bedingt durch die kalte Witterung. Auch bei der unbehandelten Jaucheprobe betragen sie nur ungefähr 10 %. Bei der zweiten Probeentnahme Ende Juni sind sie jedoch recht beträchtlich angestiegen und haben eine Höhe von fast 30 % erreicht. Durch den Zusatz von Superphosphat in Höhe von 2,5 und 5 % sind die Verluste auf 20 % herabgesetzt worden, und erst bei der Gabe von 7,5 % sinken sie auf unter 10 % herab. Dabei ist die Umsetzung des Harnstoffs in Ammonkarbonat wohl etwas verzögert, aber nicht gehemmt worden, wie die folgende Zusammenstellung zeigt:

Anteil an NH_4-N.

	an Gesamt-N in %	
Jauche	92,5	
Jauche + Öl	93,8	
	Superphosphat	Doppelsuperphosphat
Jauche + 2,5 %	89,7	88,7
Jauche + 5,0 %	88,7	88,3
Jauche + 7,5 %	85,1	84,2

Bei einem Anteil von NH_4-N an Gesamt-N von 70 % im Ausgangsmaterial ist dieser bei unbehandelt auf ungefähr 93 % gestiegen, während er bei einem Zusatz von 7,5 % Superphosphat bzw. Doppelsuperphosphat ungefähr 85 % erreicht hat.

Gegenüber der reinen Jauche liegen die Verhältnisse in bezug auf die Erhaltung des N-Gehalts beim Jauchetorf wesentlich günstiger. Überall sind hier die Verluste geringer, wie die folgenden Zahlen zeigen:

*) Herrn Dr. W. Lehmann, Jena sei auch an dieser Stelle für die Durchführung dieser Untersuchungen mein bester Dank gesagt.

Übersicht 3.

Lfd. Nr.		Zusatz		Proben vom 28. April 1936						Proben vom 28. Juni 1936					
		Art	Menge %	N-Gehalt g kg		N-Gehalt bezogen auf 1 kg ursprüngliche Jauche		Verluste in		N-Gehalt g kg		N-Gehalt bezogen auf 1 kg ursprüngliche Jauche		Verluste in	
				Gesamt-	NH_4-[1])	Gesamt-	NH_4-	g	%	Gesamt-	NH_4-	Gesamt-	NH_4-	g	%
1	Jauche	—	—	5,05	4,61	4,95	4,52	0,56	10,2	4,27	3,95	4,00	3,70	1,51	27,4
2	Jauche	+ Öl	—	5,46	5,08	5.46	5,08	0,05	0,9	5,48	5,14	5,46	5,12	0,05	0,9
3	Jauche	+ Superphosphat	2,5	5,13	4,55	5,15	4,57	0,36	6,5	4,54	4,07	4,38	3,93	1,13	20,5
4	Jauche	+ Superphosphat	5,0	5,12	4,50	5,31	4,62	0,20	3,6	4,54	4,05	4,44	3,94	1,07	19,5
5	Jauche	+ Superphosphat	7,5	5,22	4,18	5,53	4,43	—	—	4,75	4,04	4,96	4,22	0,55	10,0
6	Jauche	+ Doppelsuperphosphat	2,5	5,17	4,57	5,12	4,54	0,39	7,1	4,66	4,13	4,42	3,92	1,09	19,8
7	Jauche	+ Doppelsuperphosphat	5,0	5,25	4,04	5,26	4,05	0,25	4,5	4,89	4,32	4,68	4,13	0,93	16,9
8	Jauche	+ Doppelsuperphosphat	7,5	5,30	4,11	5,37	4,16	0,14	2.5	5,19	4,37	5,08	4,28	0,43	7,8
9	Jauchetorf	—	—	5,27	4,10	4,83	4,56	0,68	12,3	5,14	3,68	4,42	3,90	1,09	19,8
10	Jauchetorf	+ Superphosphat	2,5	5,44	4,08	5,02	4,53	0,49	8,9	5,26	3,91	4,77	4,30	0,74	13,6
11	Jauchetorf	+ Superphosphat	5,0	5,78	4,20	5,40	4,67	0,11	2.0	5,67	4,26	5,29	4,74	0,22	4,0
12	Jauchetorf	+ Superphosphat	7,5	5,63	4,03	5,23	4,48	0,28	5,1	5,47	4,14	5,13	4,66	0,38	6,9
13	Jauchetorf	+ Doppelsuperphosphat	2,5	5,30	3,71	4,87	4,15	0,64	11,6	5,11	3,78	4,55	4,04	0,96	17,4
14	Jauchetorf	+ Doppelsuperphosphat	5,0	5,59	3,96	5,19	4,40	0,32	5,8	5,64	4,10	5,20	4,53	0,31	5,6
15	Jauchetorf	+ Doppelsuperphosphat	7,5	5,74	4,06	5,36	4,51	0,15	2,7	5,58	4,30	5,08	4,62	0,43	7,8

[1]) Mittelwerte aus den Parallelgefäßen, die immer eine recht gute Übereinstimmung zeigten.

Verluste an N in %

	%	Jauche	Jauchetorf
Unbehandelt		27,4	19,8
+ Superphosphat	2,5	20,5	13,6
	5,0	19,5	4,0
	7,5	10,0	6,9
+ Doppelsuperphosphat	2,5	19,8	17,4
	5,0	16,9	5,6
	7,5	7,8	7,8

Schon bei Zusatz von 5% Superphosphat wie der entsprechenden Menge an Doppelsuperphosphat sinken die Verluste auf ungefähr 5% herab, so daß sie praktisch nicht mehr ins Gewicht fallen. Der Zusatz von Superphosphat hat also die N-erhaltende Kraft des Torfs deutlich verstärkt. Das gleiche gilt auch für das Doppelsuperphosphat.

Sichere Unterschiede zwischen der Wirkung des Superphosphats und des Doppelsuperphosphats lassen sich hier nicht erkennen.

Betrachten wir noch die Wirkung des Luftabschlusses durch den Ölzusatz auf die Erhaltung des Jauchestickstoffs, so läßt sich erkennen, daß dieser am günstigsten gewirkt hat, da hier praktisch keine Verluste (0,9%) festzustellen waren.

II. Versuche über die Verluste bei der Unterbringung der Jauche.

Zu den Verlusten, die bei der Aufbewahrung der Jauche auftreten, kommen noch die Verluste hinzu, die beim Ausbringen der Jauche eintreten können, d. h. also ehe der Stickstoff von der Pflanze aufgenommen wird. Daß diese Verluste recht erheblich sein können, zeigen schon die Jaucheversuche von Honcamp und Blanck (7) über die Abhängigkeit der Wirkung der Jauche von der Zeit wie von der Tiefe der Unterbringung, die ergaben, daß erhebliche Ertragsminderungen bei verzögerter oder zu flacher Unterbringung eintreten können. Aus diesen Versuchen läßt sich aber schon verschiedentlich erkennen, daß unter bestimmten Bedingungen gerade der Zusatz einer N-bindenden Substanz von günstigem Einfluß auf die N-Wirkung der Jauche sein kann. Aus den Versuchen von H. Wießmann, über die vorher berichtet wurde, ging der Einfluß des Superphosphats auf diese N-Verluste in starkem Maße hervor.

Um die Untersuchungen den natürlichen Verhältnissen anzupassen, wurde so vorgegangen, daß auf 3000 g Boden (leichter Sandboden) in flacher Schale 100 g Jauche resp. 120 g Jauchetorf aufgebracht wurden; die Schalen wurden dann 24 Stunden an einem luftigen Ort vor Sonne geschützt stehen gelassen. Das Wetter war verhältnismäßig kühl (ungefähr 16°) und schwach windig. Dann wurde in den Proben der N-Gehalt bestimmt und die N-Verluste berechnet. Das Ergebnis findet sich in der Übersicht 4.

Die N-Verluste durch Verdunstung sind recht erheblich. Bei der unbehandelten Jauche betragen sie über 40%. Durch Zusatz des Superphosphats wurden sie stark herabgedrückt bis auf zirka 10% bei der höchsten Gabe.

Der Jauchetorf verhält sich im allgemeinen ungünstiger als die Jauche. Die Verluste sind hier auf weit über 50% angestiegen. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die

Übersicht 4.

Lfd. Nr.		Zusatz		N-Gehalt in g je kg Jauche		Verluste	
		Art	Menge %	vorher	nachher	in g	in %
1	Jauche	—	—	4,27	2,52	1,75	41,0
2	„	+ Öl	—	5,48	3,07	2,41	44,0
3	„	+ Superphosphat	2,5	4,54	3,26	1,28	28,2
4	„	+ Superphosphat	5,0	4,54	3,76	0,78	17,2
5	„	+ Superphosphat	7,5	4,75	4,30	0,45	9,5
6	„	+ Doppelsuperph.	2,5	4,66	2,96	1,70	36,5
7	„	+ Doppelsuperph.	5,0	4,89	3,52	1,37	28,0
8	„	+ Doppelsuperph.	7,5	5,19	4,01	1,18	22,7
9	Jauchetorf	—	—	4,26	1,79	2,47	58,0
10	„	+ Superphosphat	2,5	4,41	2,72	1,69	38,3
11	„	+ Superphosphat	5,0	4,85	4,13	0,72	14,8
12	„	+ Superphosphat	7,5	4,68	4,38	0,30	6,4
13	„	+ Doppelsuperph.	2,5	4,25	2,23	2,02	47,5
14	„	+ Doppelsuperph.	5,0	4,80	3,22	1,58	32,9
15	„	+ Doppelsuperph.	7,5	4,76	3,50	1,26	26,5

Jauche zu einem großen Teil in den Boden versickert ist, während der Jauchetorf oben liegen blieb und somit die Möglichkeit zu größeren Verlusten gegeben war. Andererseits hat sich gerade hier der Zusatz des Superphosphats besonders günstig ausgewirkt; die Verluste bleiben bei diesen Proben beträchtlich hinter den entsprechenden bei der reinen Jauche zurück. Auffallend ist jedoch, daß im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Aufbewahrung der Jauche hier zwischen Superphosphat und Doppelsuperphosphat immerhin deutliche Unterschiede bestehen.

Das Doppelsuperphosphat wirkt sowohl bei der reinen Jauche wie beim Jauchetorf in sämtlichen Reihen wesentlich ungünstiger. Dies weist darauf hin, daß dem Gips aus dem Superphosphat eine gewisse Bedeutung bei der Verminderung der N-Verluste zukommt.

Die N-erhaltende Wirkung eines Gipszusatzes zur Jauche ist schon verschiedentlich beobachtet worden, Böhme (8), Nolte (9). Die Wirkung beruht anscheinend darauf, daß das Ammonkarbonat sich mit dem gelösten Gips umsetzt.

$$CaSO_4 + (NH_4)_2\,CO_3 = (NH_4)_2\,SO_4 + CaCO_3.$$

Dadurch tritt an Stelle des Ammonkarbonats das $(NH_4)_2\,SO_4$, das nicht flüchtig ist, so daß dadurch die Verluste herabgesetzt werden können.

Die Gegenwart des Gipses aus dem Superphosphat unterstützt also die N-bindende Kraft des primären Ca-Phosphats, so daß das Superphosphat dem Doppelsuperphosphat überlegen und seine Anwendung vorzuziehen ist.

Zieht man die Verluste bei der Aufbewahrung und Unterbringung der Jauche zusammen und errechnet sich hieraus den übrig gebliebenen N-Gehalt, bezogen auf 1 kg ursprüngliche Jauche, so ergibt sich folgendes Bild.

Übersicht 5.
Gefäßversuche.

Nr.	Düngung	Nährstoffgabe je Gefäß (g)			Jauche bzw. Jauchetorf g	Zusatzdüngung		
		N	P_2O_5	K_2O		N	P_2O_5	K_2O
1	Kaliumsulfat, Superphosphat	—	1,25	1,5	—	—	1,25	1,5
2	„ + NH_4NO_3	0,5	1,25	1,5	—	0,5	1,25	1,5
3	„ + NH_4NO_3	1,0	1,69	1,5	—	1,0	1,69	1,5
4	Kaliumsulfat, NH_4NO_3	0,5	—	1,5	—	0,5	—	1,5
5	Jauche	0,5	1,25	1,5	84,3	—	1,21	0,978
6	„	1,0	1,69	1,5	168,6	—	1,69	0,456
7	„ unter Ölschicht	0,5	1,25	1,5	89,9	—	1,21	0,978
8	„ „ „	1,0	1,69	1,5	179,8	—	1,61	0,456
9	„ + Superphosphat 2,5 %	0,5	1,25	1,5	86,8	—	0,81	0,978
10	„ + „ 5 %	0,5	1,25	1,5	87,9	—	0,41	0,978
11	„ + „ 5 %	1,0	1,69	1,5	178,8			0,456
12	„ + „ 7,5 %	0,5	1,25	1,5	93,9		—	0,978
13	„ + Doppelsuperph. 2,5 %	0,5	1,25	1,5	85,3	–	0,81	0,978
14	„ + „ 5 %	0,5	1,25	1,5	86,1	-	0,41	0,978
15	„ + „ 5 %	1,0	1,69	1,5	172,2	-	—	0,456
16	„ + „ 7,5 %	1,0	2,50	1,5	176,2	—	—	0,456
17	Torf	0,5	1,25	1,5	14,0	0,5	1,25	1,5
18	Jauchetorf	0,5	1,25	1,5	95,4	–	1,21	0,978
19	„	1,0	1,69	1,5	190,8	—	1,61	0,456
20	„ + Superphosphat 2,5 %	0,5	1,25	1,5	99,0	—	0,81	0,978
21	„ + „ 2,5 %	1,0	1,69	1,5	198,0	—	0,81	0,456
22	„ + „ 5 %	0,5	1,25	1,5	100,2	–	0,41	0,978
23	„ + „ 5 %	1,0	1,69	1,5	200,4	—	–	0,456
24	„ + „ 7,5 %	0,5	1,25	1,5	101,2		—	0,978
25	„ + „ 7,5 %	1,0	2,50	1,5	202,4	—	—	0,456
26	„ + Doppelsuperph. 2,5 %	0,5	1,25	1,5	96,2		0,81	0,978
27	„ + „ 2,5 %	1,0	1,69	1,5	192,4	–	0,81	0,456
28	„ + „ 5 %	0,5	1,25	1,5	99,2		0,41	0,978
29	„ + „ 5 %	1,0	1,69	1,5	198,4	-		0,456
30	„ + „ 7,5 %	0,5	1,25	1,5	96,6		—	0,978
31	„ + „ 7,5 %	1,0	2,50	1,5	193,2	—	—	0,456

N-Gehalt in g, bezogen auf 1 kg ursprüngliche Jauche.

	Jauche	Jauchetorf
Unbehandelt	2,36	1,86
+ Ölzusatz	3,06	—
+ 2,5 % Superphosphat	3,15	2,94
+ 5,0 % Superphosphat	3,68	4,40
+ 7,5 % Superphosphat	4,49	4,80

Man erkennt hieraus besonders deutlich die N-erhaltende Wirkung des Superphosphatzusatzes, das sich so stark auswirkt, daß selbst bei den mit Ölzusatz unter Luftabschluß gehaltenen Proben, bei denen bei der Aufbewahrung keine N-Verluste aufgetreten waren, jetzt die Verhältnisse infolge der starken Ver-

Übersicht 6. Ergebnisse der Gefäßversuche.

Nr.	Düngung	N-Gabe ursprünglich g	N-Menge gegeben g	Erträge in g je Gefäß: 1. Schnitt	2. Schnitt	Gesamt	mehr gegen K. P.	N-Gehalt 1. Schnitt: %	je Gefäß mg	mehr gegen K. P.
1	Kaliumsulfat . . . . Superphosphat	—	—	5,8 ± 0,36	1,2	7,0	—	12,88	75	—
2	„ + NH_4NO_3 . .	0,5	0,5	21,5 ± 0,18	3,25	24,75	17,75	16,77	361	286
3	„ + NH_4NO_3 . .	1,0	1,0	27,8 ± 0,43	4,40	32,20	25,20	25,33	704	629
4	Kaliumsulfat . . . . NH_4NO_3	0,5	0,5	20,0 ± 0,76	2,15	22,15	15,15 (-2,6)	18,25	365	290
5	Jauche	0,5	0,368	15,4 ± 0,63	2,45	17,85	10,85	14,14	218	143
6	„	1,0	0,736	22,5 ± 0,36	3,75	26,25	19,25	18,68	420	345
7	„ unter Ölschicht	0,5	0,496	17,8 ± 0,91	2,55	20,35	13.35	16,13	287	212
8	„ „ „	1,0	0,991	27,0 ± 0,91	3,70	30,70	23,70	21,35	576	501
9	„ + Superphosphat 2,5%	0,5	0,396	15,8 ± 0,36	2,30	18,1	11,1	16,20	256	181
10	„ + „ 5%	0,5	0,403	16,9 ± 0,63	1,90	18,8	18,8	15,36	260	185
11	„ + „ 5%	1,0	0,805	23,0 ± 0,54	3,35	26,35	19,35	18,42	424	349
12	„ + 7,5%	0,5	0,450	17,5 ± 0,56	1,75	19.25	12,25	16,09	282	207
13	„ + Doppelsuperph. 2,5%	0,5	0,401	16,6 ± 0,83	2,05	18,65	11,65	14,72	250	175
14	„ + „ 5%	0,5	0,416	18,9 ± 0,49	1,4	20,3	13,3	14,50	274	199
15	„ + „ 5%	1,0	0,831	25,8 ± 0,25	3,15	28,95	21,95	19,85	512	437
16	„ + „ 7,5%	1,0	0,922	26,3 ± 0,87	2,85	29,15	22,15	19,71	518	443
17	Torf	0,5	0,5	19,0 ± 0,63	3,40	22,40	17,40(-2,35)	19,19	365	290
18	Jauchetorf	0,5	0,401	17,8 ± 0,43	4,35	22,15	15,15	15,19	270	195
19	„	1,0	0,802	27,3 ± 0,54	3,2	30,5	23,5	18,92	517	442
20	„ + Superphosphat 2,5%	0,5	0,432	20,5 ± 0,54	2,1	22,6	15,6	15,16	311	236
21	„ + „ 2,5%	1,0	0,864	28,3 ± 0,61	3,1	31,4	24,4	18,93	536	461
22	„ + „ 5%	0,5	0,480	20,8 ± 0,54	2,25	23,05	16,05	15,32	319	244
23	„ + „ 5%	1,0	0,960	31,0 ± 0,36	3,55	34,55	27,55	20,89	648	573
24	„ + „ 7,5%	0,5	0,466	20,5 ± 0,54	2,30	22,80	15,7	16,23	333	258
25	„ + „ 7,5%	1,0	0,931	31,3 ± 0,29	2,65	35,95	28,95	21,23	664	589
26	„ + Doppelsuperph. 2,5%	0,5	0,413	18,0 ± 0,22	2,30	20,30	13,30	15,75	284	209
27	„ + „ 2,5%	1,0	0,826	27,8 ± 0,54	3,20	31,0	24,0	20,27	564	489
28	„ + „ 5%	0,5	0,472	19,3 ± 0,29	2,1	21,4	14,4	17,02	328	253
29	„ + „ 5%	1,0	0,944	29,8 ± 0,72	3,1	32,9	25,9	19,96	595	520
30	„ + „ 7,5%	0,5	0,461	19,8 ± 0,54	1,9	21,7	14,7	16,21	321	246

luste bei der Unterbringung wesentlich ungünstiger sind als bei Zusatz des Superphosphats. Der Zusatz von Torf hat diese Wirkung noch wesentlich verstärkt.

III. Vegetationsversuche.

Mit dem Material von den Aufbewahrungsversuchen wurde eine Reihe von Vegetationsversuchen durchgeführt, um die Ausnutzung des Stickstoffs festzustellen. Als Grundlage der N-Düngung diente die N-Menge, die in der ursprünglichen Jauche vorhanden war (5,51 g je kg), so daß der Einfluß der verschiedenen Zusätze auch im Ergebnis der Vegetationsversuche zum Ausdruck kommen mußte. Die Stickstoffgaben betrugen 0,5 und 1,0 g N, entsprechend 90 bzw. 180 g der ursprünglichen Jauche. Die Gabe an P_2O_5 je Gefäß wurde bei einer N-Düngung von 0,5 g auf 1,25 g bemessen. Dies stimmt mit der Phosphorsäuremenge aus der Jauche unter Zusatz von 7,5 % Superphosphat überein. Bei einer N-Gabe von 1,0 g betrug sie 1,69 g P_2O_5, dies entspricht dem Superphosphatzusatz von 5 %. Die Kalidungung betrug 1,5 g K_2O als K_2SO_4; die in der Jauche vorhandenen Kalimengen wurden berücksichtigt. Der Versuchsplan ist in der folgenden Übersicht 5 wiedergegeben, aus der alle Einzelheiten zu ersehen sind.

Als Versuchsboden diente ein leichter Sandboden vom Stationsgelände mit einer pH-Zahl in KCl-Aufschwemmung von 5,8 und einer hydrolytischen Azidität von 5,6 ccm.

Versuchspflanze war deutsches Weidelgras.

Gedüngt wurde am 11. 7. 1936.

Gesät am 15 7. 1936; die Reihen 4 und 17 kamen eine Woche später am 22. 7. 1936 zur Einsaat.

Der 1. Schnitt wurde am 8. 9. 1936 genommen, der zweite am 16. 10. 1936

Die Erträge sind in der Übersicht 6 zusammengestellt.

Die erhaltenen Ergebnisse stehen im allgemeinen in guter Übereinstimmung mit den vorhergehenden Untersuchungen. Die N-Verluste bei der Konservierung kommen deutlich in einer Ertragsverminderung zum Ausdruck. Ganz allgemein zeigt sich, daß die Jauche etwas geringere Erträge gebracht hat als der Jauchetorf. Hier liegen auch die höchsten Erträge, die überhaupt erhalten wurden, und zwar bei dem Superphosphatzusatz von 5 und 7,5 %. Diese Erträge liegen sogar deutlich höher als die bei der reinen mineralischen Düngung, trotzdem die absoluten Stickstoffmengen, die gegeben wurden, infolge der bei der Aufbewahrung entstandenen Verluste etwas niedriger lagen. Der Zusatz von Torf-Superphosphat hat sich also recht günstig ausgewirkt. Zwischen Superphosphat und Doppelsuperphosphat bestehen nur geringe Unterschiede, wenn auch hier eine gewisse Tendenz einer besseren Wirkung des Superphosphats vorhanden zu sein scheint. Überraschend ist, daß die Jauche, die unter Ölabschluß aufbewahrt wurde, verhältnismäßig schlecht abgeschnitten hat, trotzdem sie den höchsten N-Gehalt besaß. Es ist die Frage, ob hier gewisse N-Verluste bei der Unterbringung aufgetreten sind oder ob sich ein ungünstiger Einfluß des Öls ausgewirkt hat, wofür spricht, daß das Gras in diesen Gefäßen sich zunächst deutlich schlechter entwickelte als in den anderen; erst im Laufe der Vegetation verschwand dieses Zurückbleiben immer mehr und mehr.

Eine Phosphorsäurewirkung (s. Reihe 4) und eine Wirkung

des Torfmulls allein (s. Reihe 17) scheint kaum vorhanden zu sein. Allerdings ist zu bedenken, daß die Einsaat in diesen beiden Reihen zirka eine Woche später erfolgte als bei den anderen, was bei der an und für sich späten Aussaatzeit auch von Einfluß gewesen sein kann.

In der Erntesubstanz wurde der N-Gehalt bestimmt, um die N-Aufnahme verfolgen zu können*). Die Ergebnisse sind gleichfalls in Übersicht 6 wiedergegeben. Der höchste N-Gehalt und demzufolge auch die höchste N-Aufnahme findet sich bei der mineralischen Stickstoffdüngung. Allerdings ist der Unterschied gegenüber dem unter Zusatz von Superphosphat konservierten Jauchetorf nicht groß (580 gegen 629 mg), wobei zu bedenken ist, daß die absolute Gabe an N beim Jauchetorf von vornherein etwas geringer gewesen ist als bei der mineralischen Düngung. Am ungünstigsten liegen auch hier die Verhältnisse bei der unbehandelten Jauche. Weiterhin läßt sich feststellen, daß die N-Aufnahme bei der Düngung mit Jauchetorf günstiger vor sich gegangen ist als bei der reinen Jauchedüngung. Die N-Gehalte liegen bei der ersten wesentlich höher und demzufolge auch die aufgenommenen Mengen an N. Zwischen Superphosphat und Doppelsuperphosphat lassen sich keine deutlichen Unterschiede feststellen.

In einigen Proben wurde weiterhin der Gehalt an P_2O_5 bestimmt, um festzustellen, inwieweit die Jauche resp. die Jauchetorfdüngung die Aufnahme an P_2O_5 beeinflußt. Die Ergebnisse waren folgende:

Gefäßreihe	Düngung	P_2O_5 %
4	KN-Düngung	0,81
2	KN + Superphosphat	0,88
7	Jauche (unter Öl)	0,91
12	Jauche + Superphosphat 7,5 %	0,90
24	Jauchetorf + Superphosphat 7,5 %	0,86

Die Werte liegen überall beträchtlich hoch, auch bei der P_2O_5-Mangelreihe über 0,8 %. Unterschiede sind daher nicht zu erkennen.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Durch Zusatz von Superphosphat bzw. Doppelsuperphosphat lassen sich die Verluste bei der Aufbewahrung der Jauche so stark herabdrücken, daß sie praktisch nicht mehr von großer Bedeutung sind. Die Menge an Superphosphat, mit der dies erreicht wird, beträgt zirka 7,5 % resp. die entsprechende an Doppelsuperphosphat.

Am günstigsten hat der Luftabschluß durch Ölzusatz gewirkt, bei dem keine N-Verluste eingetreten sind.

*) Von der Untersuchung des zweiten Schnitts wurde Abstand genommen, da die Ernte hier recht gering war und es nicht anzunehmen ist, daß das Ergebnis dadurch beeinflußt wird.

2. Zusatz von Torf und Superphosphat verstärken sich in ihrer gegenseitigen Wirkung. Hier genügt schon ein Zusatz von 5 % Superphosphat, um die N-Verluste praktisch zu unterdrücken.

3. Die N-Verluste bei oberflächlicher Ausbringung sind zunächst bei Jauchetorf höher als bei der Jauche. Durch Zusatz des Superphosphats, durch den die N-Verluste stark herabgesetzt wurden, werden die Verhältnisse auch für den Jauchetorf günstiger gestaltet als für die Jauche allein. Superphosphat wirkte infolge seines Gipsgehaltes wesentlich günstiger als Doppelsuperphosphat.

Durch die günstige Wirkung des Superphosphats auf die Verluste während der Unterbringung sind hier insgesamt die Verluste sogar niedriger geblieben als bei den Proben, die unter Luftabschluß (Ölzusatz) aufbewahrt geblieben waren.

4. Bei den Vegetationsversuchen wurden mit dem Jauchetorf, der unter Zusatz von Superphosphat hergestellt war, zum Teil die gleichen Erträge, zum Teil sogar günstigere Ergebnisse erzielt als bei der entsprechenden Mineraldüngung, wobei noch darauf hinzuweisen ist, daß die N-Mengen, die im Jauchetorf gegeben wurden, etwas niedriger waren. Die entsprechende Düngung mit Jauche dagegen schnitt deutlich schlechter ab.

5. Die N-Aufnahme liegt bei den mit Superphosphat behandelten Jauchetorfproben auf ungefähr der gleichen Höhe wie bei der mineralischen Düngung. Bei den reinen Jaucheproben blieb sie sowohl in bezug auf den N-Gehalt als auch die absolute N-Aufnahme deutlich zurück.

6. Über die Beeinflussung der P_2O_5-Aufnahme ließen sich keine besonderen Feststellungen machen.

7. In bezug auf das Verhältnis der Wirkung des Superphosphats und Doppelsuperphosphats zueinander läßt sich das Ergebnis der Untersuchungen dahin zusammenfassen, daß beide Stoffe auf die N-Erhaltung bei der Aufbewahrung der Jauche gleich stark gewirkt haben, daß dagegen die Verluste beim Ausbringen der Jauche durch den Zusatz des Superphosphats stärker vermindert wurden als beim Doppelsuperphosphat, so daß der Anwendung des Superphosphats vor der des Doppelsuperphosphats der Vorzug zu geben ist.

Schrifttum.

1. Stutzer, A.: Fühl. landw. Ztg., **55**, 1906, 338.
2. Wagner, P.: Dtsch. landw. Presse, Berlin, **28**, 1901, 644.
3. Ortmann, Chr.: Mitt. d. DLG., Berlin, **24**, 1909, 227; s. a. Honcamp, F. und E. Blanck: Arb. d. DLG., Heft 282, 79 (1916).
4. Heinrich, R.: Landw. Ann. d. Meckl. Patr. Ver., Rostock, **49**. 1910, 82.
5. Honcamp, F. u. E. Blanck: Mitt. d. DLG., **282**, 1916, 272.
6. Ruschmann, G.: in F. Honcamp Handb. d. Pflanzenernährung u. Düngerlehre, **2**, 1931, 209.
7. a. a. O.
8. Böhme, E.: Studien über Konservierung und Anwendung des Stickstoffs im Harn und in der Jauche. Diss. Rostock 1904.
9. Nolte, O.: Arb. d. Landw.-Vers.-Stat. Rostock, **4**, 1919, 361.

Versuche, betreffend Erhaltung des Stickstoffes in der Jauche durch Zusatz von Superphosphat.

Von **A. Gabriel**, Hildesheim[1]).

Eingegangen: 7. Januar 1939.

Bei der großen Bedeutung der Jauche für die Landwirtschaft ist es nicht verwunderlich, daß immer wieder Arbeiten in Angriff genommen und Versuche durchgeführt wurden, um die Frage einer möglichst weitgehenden Einschrankung der Verluste an Stickstoff bei der Gewinnung, Aufbewahrung und Ausbringung der Jauche in befriedigender Weise zu losen. Diese Verluste sind bekanntlich durch die infolge von Gärungsvorgängen eintretende Zersetzung des Harnstoffs bedingt, wobei sich kohlensaures Ammoniak (Ammoniumkarbonat) bildet, das flüchtig ist.

Voraussetzung für die Gewinnung einer stickstoffreichen Jauche ist möglichst vollstandiges Sammeln und schnelles Herausleiten aus dem Stall in eine sachgemäß gebaute Grube mit möglichst luftdichtem Abschluß derselben und Zusatz geeigneter Konservierungsmittel.

Eine Zugabe von Chemikalien als Konservierungsmittel, wie Formalin, Schwefelsäure, Natriumbisulfat, Kainit u. a. zur Jauche hat sich aber in der Praxis bisher noch nicht einbürgern können.

Es ist daher zu begrüßen, daß der Forschungsdienst dieses Problem wieder aufgriff und einen Arbeitskreis schuf, der in Gemeinschafts- und Einzelarbeiten zur Klärung der Frage einer weitgehenden Erhaltung des Jauchestickstoffes in der Praxis einen weiteren Beitrag liefern sollte.

Es lag nahe, vor allem das Superphosphat für diese Versuche heranzuziehen, weil es sich bereits bei in den vergangenen Jahren durchgeführten Prüfungen als Zusatzmittel zur Jauche zwecks Drosselung der Stickstoffverluste bewährt hatte und auch hie und da in landwirtschaftlichen Betrieben zu diesem Zweck zur Anwendung kommt. Für die Wahl von Superphosphat war außerdem mitbestimmend der Gedanke, daß es an und für sich schon als Düngemittel Verwendung findet und ferner die Möglichkeit, mit ihm der Jauche zugleich die ihr fehlende Phosphorsäure zuzuführen, ihr also damit gewissermaßen die Eigenschaften eines Volldüngers (Stickstoff, Kali und Phosphorsäure neben gewissen Mengen Kalk in Form von phosphorsaurem Kalk und schwefelsaurem Kalk) zu verleihen.

Die von mir während der letzten Jahre durchgeführten Versuche, bei denen auch Torfmull, mit und ohne Zusatz von Superphosphat Verwendung fand, können als abgeschlossen gelten. Sie sollten zur Klärung der Frage beitragen, ob und bis zu welchem Grade es in der Praxis möglich ist, den wertvollen Stickstoff der Jauche durch Zusatz von Superphosphat zu erhalten, und welche Mengen Superphosphat hierzu erforderlich sind.

Bekanntlich enthält die in üblicher Weise gewonnene und aufbewahrte Jauche im Durchschnitt 2 bis höchstens 3 g Stick-

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/4b des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Dr. Gabriel, Hildesheim.

stoff im Liter, während für den frischen Harn im Durchschnitt Werte von 8—12 g angegeben werden. Der Stickstoffgehalt des Harns sowohl wie die täglich je Tier anfallende Menge Harn sind in erster Linie von der Fütterung abhängig. Im Schrifttum sind für die Harnmengen Zahlen von 5—15 Liter und darüber je Tag und Stück Großvieh (Kühe) angegeben. Was aber die anfallende Menge Jauche anbetrifft, so haben meine gewichtsmäßigen Feststellungen ergeben, daß man im allgemeinen je Tag und Tier durchschnittlich nur 7—9 Liter Jauche annehmen kann, die in die Jauchegrube abfließen. Der Mistsickersaft ist hierbei ausgeschaltet.

Man muß damit rechnen, daß, wie frühere und meine Versuche gezeigt haben, durch Aufnahme des Harns durch die Einstreu, durch Verdunstung, vor allem aber infolge Verspritzens auf dem hinteren Teil des Standes und auf der Stallgasse, vielfach nur 40—50% des anfallenden Harns in die Jauchegrube gelangen.

Torfmull habe ich deshalb in meine Versuche einbezogen, weil in vielen Betrieben noch keine sachgemäß gebauten Jauchegruben vorhanden sind und bei Verwendung von Torf die Möglichkeit gegeben ist, durch diesen die Jauche aufsaugen zu lassen, aus dem auf diese Weise gewonnenen stickstoffreichen Jauchetorf einen wertvollen Torfkompost herzustellen — zumal wenn man dem Torf noch Superphosphat zusetzt — und dadurch die Humuswirtschaft des betreffenden Betriebes zu verbessern.

Die Jauchekonservierungsversuche wurden in der Lehrwirtschaft der Landesbauernschaft Niedersachsen in Echem bei Lüneburg und in dem Heidehof Allerhop, Kreis Soltau durchgeführt[2]), die erforderlichen Untersuchungen in der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Hildesheim vorgenommen.

Vorversuche (Echem).

Bei diesen handelte es sich um einen Jauche- und Mistkonservierungsversuch. Er war so angelegt, daß im Kuhstall auf beiden Seiten der Stallgasse je 3 Tiere von annähernd gleichem Gewicht und Alter aufgestellt und mehrere Monate gleich gefüttert wurden. Auch die Einstreu war die gleiche.

Bei der einen Gruppe wurde täglich 1 kg Superphosphat je Tier eingestreut und zwar morgens und abends je 500 g. Die Gaben wurden je zur Hälfte auf den hinteren Teil des Kurzstandes bzw. die Kotplatte und in die Jaucherinne verteilt. Der Mist wurde, für beide Gruppen getrennt, in einem überdachten Raum aufgestapelt, ohne daß ein Auffangen der Sickerwässer stattfand. Auf dem Boden des Stapelplatzes wurde lediglich eine Schicht Torfstreu ausgebreitet. Die Jauche floß aus den Jaucherinnen — ebenfalls für beide Gruppen getrennt — in zwei betonierte, überdachte Gruben von je rund 7 cbm Fassungsvermögen.

Das eingestreute Superphosphat blieb zunächst einen Monat in der Jaucherinne liegen und wurde dann als Schlamm in die Jauchegrube ge-

---

[2]) Ich möchte nicht unterlassen, Herrn Busch, Allerhop und Herrn Inspektor Carl, dem Leiter der Lehrwirtschaft Echem, für die Unterstützung, die sie mir bei meinen Versuchen haben zuteil werden lassen, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

schüttet. Bei dieser Versuchsanordnung bildete sich aber zuviel Schlamm, wodurch Störungen und Fehlerquellen infolge Stauung der Jauche, Verdunstung usw entstanden. Auch ein zweimaliges Reinigen der Jaucherinne im Monat beseitigte die genannten Störungen nicht, so daß dazu übergegangen wurde, den Jauchesuperphosphatschlamm täglich aus der Jaucherinne zu entfernen. Ferner wurden die Rohre, die aus den Jaucherinnen in die Jauchegruben mündeten, durch bis zum Boden der Jauchegruben reichende abnehmbare Rohre ersetzt.

Inzwischen war die Zeit des Weideauftriebes herangekommen, und der Versuch wurde abgebrochen, um Ende November des gleichen Jahres wiederholt zu werden, wobei die bei dem Vorversuch gemachten Erfahrungen verwertet wurden. Ich sehe wegen der Unzulänglichkeit der Versuchsanordnung bei dem Vorversuch von einer Veröffentlichung der Einzelergebnisse ab. Alles in allem war eine stickstofferhaltende Wirkung des Superphosphates, zumal bei dem Jauchekonservierungsversuch, mit Sicherheit festzustellen.

Bei dem Stapelmist, der nach Abschluß des Versuches noch etwa 6 Monate liegen blieb, und von dem im Mai und November Durchschnittsproben untersucht wurden, waren die Unterschiede hinsichtlich des Stickstoffgehaltes der beiden Mistarten — mit und ohne Superphosphat — so gering, daß sich irgendwelche Schlüsse daraus nicht ziehen lassen. Dieser Versuch wurde nicht wiederholt, da inzwischen von anderen Mitarbeitern des Arbeitskreises II/4b eingehende Stallmistkonservierungsversuche eingeleitet worden waren, die zum Teil abgeschlossen sind.

Erster Hauptversuch (Echem).

Wie bereits erwähnt, erfuhr nur der Jauchekonservierungsversuch eine Wiederholung. Er begann Ende November und dauerte bis Ende April des nächsten Jahres, also rund 5 Monate.

Versuchsanordnung. Wie bei dem Vorversuch waren auch jetzt wieder im Kuhstall auf beiden Seiten der Stallgasse je 3 Tiere von annähernd gleichem Gewicht und Alter aufgestellt. Bei der einen Gruppe wurden täglich je Tier 250 g 18%iges Superphosphat in die überdeckte Jaucherinne gestreut.

Die Jauche floß aus den Jaucherinnen durch Siphonverschlüsse und daran anschließende lange Rohre in die für beide Gruppen von einander getrennt angelegten betonierten und überdachten Gruben mit je rund 7 cbm Fassungsvermögen.

Um eine möglichst schnelle Ableitung des Harns in die Jauchegrube zu bewirken, wurde der sich bildende Superphosphatschlamm täglich aus der einen Jaucherinne und von Zeit zu Zeit auch aus dem einen Siphonverschluß entfernt und in die zugehörige Jauchegrube geschüttet.

Laufend erfolgten Untersuchungen sowohl von Einzelharnproben als auch von Tagessammelproben jeden Tieres. Ferner wurden Jaucheproben aus den Jaucherinnen, den Verbindungsstellen der Siphonverschlüsse mit den in die Jauchegruben mündenden Rohren und aus den Jauchegruben selbst entnommen und untersucht.

Die Untersuchungsergebnisse sind, auch in den noch folgenden Tabellen, nach steigendem Gehalt an Gesamtstickstoff angegeben; die Zeit der Probenentnahme steht damit aber in keinem Zusammenhang. Die untersuchten Proben stellen Mischproben zahlreicher, bei Tag und bei Nacht aufgefangener Harnmengen der Versuchstiere dar. Ganz vereinzelt aufgetretene sehr niedrige und sehr hohe Werte von Einzelharnproben habe ich unberücksichtigt gelassen.

Im Mittel der 60 Bestimmungen ergibt sich ein Gehalt des Harns der Versuchstiere aus der Gruppe ohne Superphosphat von 7,34 g Gesamtstickstoff im Liter mit 0,31 g Ammoniakstickstoff, aus der Gruppe mit Superphosphat von 6,99 g mit

Gehalt der Harnproben an Stickstoff.

Gruppe ohne Superphosphat		Gruppe mit Superphosphat	
Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter	Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter
4,94	0,13	5,25	0,16
5,47	0,18	5,27	0,14
5,95	0,26	6,27	0,20
6,48	0,24	6,31	0,26
6,49	0,23	6,42	0,23
7,05	0,30	6,61	0,28
7,38	0,31	6,72	0,24
7,61	0,35	6,86	0,23
7,72	0,32	7,10	0,26
7,87	0,29	7,32	0,30
8,41	0,40	7,84	0,38
8,51	0,38	7,93	0,34
8,69	0,42	7,98	0,39
8,72	0,41	8,24	0,44
8,76	0,48	8,78	0,38

0,28 g Ammoniakstickstoff. Diese Zahlen sind bei der Schlußberechnung der in der Jauche während ihrer Aufbewahrungszeit eingetretenen Stickstoffverluste zugrunde gelegt.

Harnproben aus den Jaucherinnen.

Gruppe ohne Superphosphat		Gruppe mit Superphosphat	
Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter	Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter
4,36	4,18	5,98	0,98
4,72	4,43	6,24	1,03
5,29	4,34	6,76	1,47
5,41	4,72	6,97	1,72
5,85	5,03	7,24	1,34

Hierbei tritt vor allem ein deutlicher Unterschied in dem Anteil des Gesamtstickstoffs an Ammoniakstickstoff hervor, der bei den Jaucheproben der Gruppe mit Superphosphat viel niedriger ist als bei der anderen Gruppe. Das Superphosphat hat also die Zersetzung des Harnstoffs weitgehend zu verhindern vermocht, aber auch hinsichtlich der Erhaltung des Gesamtstickstoffes günstig gewirkt.

Im Mittel der 20 Untersuchungen ergibt sich ein Gehalt des Harns aus den Jaucherinnen der Versuchstiere aus der Gruppe ohne Superphosphat von 5,13 g Gesamtstickstoff im Liter mit 4,54 g Ammoniakstickstoff, aus der Superphosphatgruppe von 6,64 g mit 1,31 g Ammoniakstickstoff.

Die Reaktion des gewöhnlichen Harns aus der Jaucherinne war stark alkalisch, die des Superphosphatharns deutlich sauer.

Im Mittel der 16 Untersuchungen ergibt sich ein Gehalt des Harns, entnommen an den Einmündungsstellen, der Gruppe

Harnproben, entnommen an den Einmündungsstellen der Jaucherinnen in die Jauchegruben.

Gruppe ohne Superphosphat		Gruppe mit Superphosphat	
Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter	Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter
3,46	3,02	5,29	1,43
3,84	3,58	5,58	1,29
4,26	3,49	6,26	1,74
4,53	3,91	6,72	2,02

ohne Superphosphat von 4,02 g Gesamtstickstoff im Liter mit 3,50 g Ammoniakstickstoff, der Superphosphatgruppe von 5,96 g mit 1,62 g Ammoniakstickstoff. Die günstige Wirkung des Superphosphats dauerte also weiter an, sowohl was die Erhaltung des Gesamtstickstoffs als auch die Bildung von Ammoniakstickstoff anbetrifft.

Die Reaktion des gewöhnlichen Harns war stark alkalisch, die des Superphosphatharns deutlich sauer.

Jaucheproben aus den Gruben.

Gruppe ohne Superphosphat		Gruppe mit Superphosphat	
Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter	Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter
2,66	2,58	4,65	4,23
2,68	2,60	4,84	4,44
2,71	2,67	4,91	4,41
2,76	2,64	5,16	4,67
2,83	2,68	5,34	4,91
2,92	2,77	5,46	4,93
3,38	3,19	5,73	5,26
3,38	3,04	5,78	5,16
3,39	3,01	5,79	5,22
3,41	3,12	5,96	5,40

Im Mittel der 40 Untersuchungen ergibt sich ein Gehalt der Jauche aus der Grube ohne Superphosphatzusatz von 3,01 g Gesamtstickstoff im Liter mit 2,83 g Ammoniakstickstoff, aus der Grube mit Superphosphatzusatz von 5,36 g mit 4,86 g Ammoniakstickstoff.

Die Reaktion der gewöhnlichen Jaucheproben war stark alkalisch, die der Proben aus der Superphosphatgrube neutral bis alkalisch.

Die Verluste der gewöhnlichen Jauche an Stickstoff haben in der Grube weitere Fortschritte gemacht, aber auch die der Superphosphatjauche sind nicht zum Stillstand gekommen. Ebenso konnte die Bildung von durch Zersetzung des Harnstoffs entstehendem Ammoniak nicht verhindert werden. Eine günstige Wirkung des Superphosphates hinsichtlich der Erhaltung des Stickstoffes in der Jauche ist aber unverkennbar.

Unter Zugrundelegung der Ausgangswerte für den Stickstoff-

gehalt des frischen Harns (7,34 g im Liter bei der Gruppe ohne Superphosphatzusatz und 6,99 g im Liter bei der Superphosphatgruppe) und des „endgültigen" Gehaltes der Jauche an Gesamtstickstoff nach einer Aufbewahrungsdauer von rund 5 Monaten (2,61 g im Liter bei der Jauche ohne Superphosphat und 4,83 g bei der Superphosphatjauche) berechnen sich die Verluste der Jauche an Stickstoff bei jener zu 64,4%, bei dieser zu 30,9%. Durch die Verwendung von Superphosphat sind also die Stickstoffverluste auf über die Hälfte herabgedrückt worden.

Rein äußerlich verhielten sich die beiden Jauchearten während der Aufbewahrung in den Gruben verschieden. Bei der Jauche ohne Zusatz von Superphosphat waren die Schaumbildung und der stechende Ammoniakgeruch sehr stark, während bei der Superphosphatjauche kaum eine Schaumbildung und ein viel schwächerer Ammoniakgeruch sich bemerkbar machten.

Nach meinen Beobachtungen und Feststellungen kommt es vor allem darauf an, daß der Harn möglichst lange, d. h. auf seinem ganzen Wege, beginnend in der Jaucherinne, endigend auf dem Boden der Jauchegrube, mit dem Superphosphat in Berührung bleibt, damit dessen saure, die Harnstoffzersetzung hemmende Eigenschaft und seine stickstofferhaltende Wirkung (Umsetzung des in ihm enthaltenen wasserlöslichen Kalziumphosphats und schwefelsauren Kalkes (Gips) mit dem flüchtigen Ammoniumkarbonat der Jauche zu nicht flüchtigem Ammoniumphosphat bzw. Ammoniumsulfat) restlos ausgenutzt werden können.

Die Jauchegrube „mit Superphosphat" enthielt am Schluß des Versuches (nach 160 Stalltagen) rund 3900 Liter Jauche. Das entspricht je Tag und Tier einer Jauchemenge von rund 8 Litern. Ich hatte nach meinen Feststellungen bei den Vorversuchen mit weniger gerechnet und darnach die Superphosphatmenge von 250 g je Tag und Tier gewählt, um einen 4 bis 5%igen Zusatz zu erreichen. Diese 250 g entsprechen aber nur etwas über 3,1% Superphosphat, bezogen auf die angefallene Jauche. Da je Tag und Tier 250 g, für die 3 Tiere also 750 g Superphosphat mit 17,8% wasserlöslicher Phosphorsäure eingestreut wurden, so müßten sich die 3900 Liter Superphosphatjauche nach 160 Tagen mit 120 kg Superphosphat = 21,36 kg wasserlöslicher Phosphorsäure angereichert haben. Dies entspricht 5,48 g Phosphorsäure im Liter. Gefunden wurden in einer Durchschnittsprobe aber nur 3,52 g im Liter. Der Rest ist in dem am Boden der Grube sich abgesetzten Superphosphatschlamm enthalten. Gewisse Verluste mögen auch beim täglichen Ausräumen der Jaucherinne entstanden sein.

An Kali enthielt die Superphosphatjauche 11,73 g im Liter. Es ergibt sich also ein Nährstoffverhältnis in der Superphosphatjauche von Stickstoff : Phosphorsäure : Kali wie 4,83 : 3,52 : 11,73 oder wie 1 : 0,73 : 2,43. Richtiger ist es aber, wenn auch der Rest

an Phosphorsäure mitberücksichtigt wird, der im Superphosphatschlamm enthalten ist, da dieser beim Auspumpen der Jauche ja mitgerissen und beim Ausfahren ebenfalls auf die Felder gebracht wird.

Wenn wir den berechneten Wert von 5,48 g Phosphorsäure im Liter zugrunde legen, so erhalten wir ein Nährstoffverhältnis von Stickstoff : Phosphorsäure : Kali wie 4,83 : 5,48 : 11,73 oder wie 1 : 1,13 : 2,43, also ein Verhältnis, wie es etwa dem derzeitigen Verbrauch an Mineraldünger bei der Düngung des deutschen Bodens entspricht (1 : 1,3 : 2).

In der Praxis wird man meines Erachtens ohne Bedenken etwa 4—5 % Superphosphat zur Jauche geben können, ohne diese Harmonie der Nährstoffe zu stören. Denn dann wird voraussichtlich — außer einem höheren Phosphorsäuregehalt — auch mit einem noch etwas höheren Gehalt an Stickstoff als 4,83 g im Liter gerechnet werden können, da die größere Menge Superphosphat auch die Erzeugung einer noch stickstoffreicheren Jauche zur Folge haben dürfte.

Zweiter Hauptversuch (Allerhop).

Der Jauchekonservierungsversuch mit Torfmull, mit und ohne Zusatz von Superphosphat, wurde wieder im Kuhstall durchgeführt und dauerte rund 4 Monate. Er sollte zur Klärung der Frage beitragen, ob durch Zusatz von Superphosphat zu Torf dessen stickstofferhaltende Wirkung gesteigert werden kann.

Versuchsanordnung. Auf beiden Seiten der Stallgasse wurden hinter je 3 Versuchstieren 15 kg Torfmull in die überdeckten Jaucherinnen gestreut. Bei der Gruppe mit Superphosphatzusatz erfolgte während der Beschickung der Jaucherinne mit Torfmull eine innige Mischung desselben mit Superphosphat. Vor Beginn des eigentlichen Versuches wurden zahlreiche Einzel- und Mischharnproben der Versuchstiere auf ihren Gehalt an Stickstoff untersucht, die Mengen Harn festgestellt, die der Torfmull aufzusaugen vermochte, ferner die Zeit, die er benötigte, um sich mit Harn zu sättigen, ohne ihn beim Lagern in der Jaucherinne wieder abzugeben.

Der Jauchetorf wurde sofort nach dem Ausräumen der Jaucherinnen wiederholt gewogen und, nachdem von Zeit zu Zeit Durchschnittsproben davon für die Untersuchung entnommen waren, im Freien, aber vor Regen geschützt, in zwei getrennten Haufen aufgestapelt, die später mit einer einfachen Holzverschalung umkleidet wurden. Während der Lagerung der beiden Jauchetorfstapel wurden von Zeit zu Zeit Proben zwecks Untersuchung entnommen.

Vorversuch. Dieser diente vor allem zur Feststellung des Stickstoffgehaltes des Harns der Versuchstiere, der von den 15 kg Torfmull aufnehmbaren Harnmengen und der Anzahl Tage, die der Jauchetorf in den Jaucherinnen lagern konnte, ohne Jauche abzugeben. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für den Hauptversuch.

In der Tabelle sind nur die Untersuchungsergebnisse von Mischharnproben der 3 Tiere jeder Gruppe angegeben. Die Einzelproben zeigten zu große Unterschiede im Stickstoffgehalt, als daß sie für die erforderlichen Berechnungen hätten zugrunde gelegt werden können.

Gehalt der Harnproben an Stickstoff.

Gruppe ohne Superphosphat		Gruppe mit Superphosphat	
Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter	Gesamtstickstoff g im Liter	davon Ammoniakstickstoff g im Liter
5,94	0,22	5,63	0,21
6,81	0,31	6,44	0,27
6,86	0,26	6,98	0,29
7,51	0,34	7,62	0,32
8,19	0,41	7,82	0,30
8,28	0,37	7,97	0,41
8,57	0,41	8,76	0,37
8,78	0,47	9,24	0,48
8,94	0,48	9,63	0,44
9,57	0,50	9,96	0,49
9,58	0,47	10,09	0,51
9,76	0,48	10,21	0,47

Im Mittel der 48 Bestimmungen enthielt der Harn der Versuchstiere aus der Gruppe ohne Superphosphatzusatz 8,23 g Stickstoff im Liter mit 0,39 g Ammoniakstickstoff, der Harn der Tiere aus der Superphosphatgruppe 8,36 g mit 0,38 g Ammoniakstickstoff. Der Trockensubstanzgehalt des Harns der Versuchstiere beider Gruppen betrug im Mittel zahlreicher Bestimmungen 6,4%.

Analyse des Torfmulls.

Reaktion gegen Lackmus: sauer.
Der Torfmull enthielt:

	17,15%	Wasser,	entsprechend	82,85% Trockensubstanz,
	0,92%	Rohasche,	„	1,11% in der Trockensubstanz,
davon	0,31%	Sand usw.	„	0,37% in der Trockensubstanz,
	0,76%	Gesamtstickstoff	„	0,93% in der Trockensubstanz.

Die Untersuchung des Superphosphates ergab bei 18,9% Gesamtphosphorsäure 18,3% wasserlösliche Phosphorsäure.

Beim Vorversuch wurde festgestellt, daß sich in der Jaucherinne hinter den 3 Versuchstieren bei beiden Gruppen 15 kg Torfmull unterbringen ließen. Dieser blieb zunächst 3 Tage, dann 4 Tage liegen. Dann fing er an wieder Jauche abzugeben.

Gewicht des gewöhnlichen Jauchetorfs nach 4 Tagen beim Ausräumen der Jaucherinne.

Die Vorversuche, wobei der Jauchetorf bei beiden Gruppen täglich aus den Jaucherinnen entfernt wurde, hatten ergeben, daß im Mittel von mehreren Wägungen je Tag und Tier 11,5 Liter Harn — es wurde ziemlich viel Saftfutter gefüttert — in die Jaucherinne flossen. Demnach ergibt sich folgende Berechnung:

3 Tiere liefern in 4 Tagen 12 × 11,5 = 138 Liter Harn. Dazu kommen 15 kg Torfmull, so daß sich nach 4 Tagen ein Gesamtgewicht von 138 + 15 = 153 kg — (Liter Harn = kg Harn gesetzt) hätte ergeben müssen. Es wurden aber, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich ist, im Mittel von 20 Wägungen nur 140,4 kg Jauchetorf = Harn + Torfmull gefunden.

137,5 kg	145,0 kg	
140,0 kg	143,5 kg	
141,5 kg	141,0 kg	
145,0 kg	137,5 kg	
142,5 kg	138,5 kg	Mittel: 140,4 kg
140,0 kg	140,0 kg	Davon Harn: 125,4 kg
137,5 kg	139,5 kg	Torfmull: 15,0 kg
140,0 kg	138,0 kg	
141,5 kg	141,0 kg	
138,5 kg	140,0 kg	

Es fehlen also 153 weniger 140,4 = 12,6 kg, was ich in erster Linie auf Wasserverdunstung in dem warmen Stall innerhalb der 4 Tage zurückführe. Vielleicht hat auch der Torf in dieser Zeit geringe Mengen Harn durchsickern lassen.

Für die Berechnung der Stickstoffverluste können selbstverständlich nur die Proben zugrundegelegt werden, die bei der nach 4 Tagen vorgenommenen Räumung der Jaucherinnen gezogen und untersucht wurden. Sie sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Jauchetorfproben der Gruppe ohne Superphosphatzusatz.

	Reaktion	Wasser %	Trocken-substanz %	Gesamt-stickstoff %	Ammoniak-stickstoff %
1.	stark alkalisch	84,4	15,6	0,92	0,62
2.	stark alkalisch	85,3	14,7	0,87	0,67
3.	stark alkalisch	85,7	14,3	0,88	0,58
4.	stark alkalisch	83,9	16,1	0,93	0,58
5.	stark alkalisch	86,4	13,6	0,76	0,61
6.	stark alkalisch	85,9	14,1	0,84	0,67
	Im Mittel:	85,3	14,7	0,87	0,62

In der Trockensubstanz sind enthalten:
Im Mittel: 5,92 % Gesamtstickstoff, davon 4,22 % Ammoniakstickstoff.

Im folgenden wurde berechnet, wieviel Trockensubstanz und Gesamtstickstoff der Jauchetorf enthalten müßte, wenn im Durchschnitt tatsächlich je Tag und Tier 11,5 Liter Jauche von dem Torfmull aufgenommen worden wären und keine Gewichtsabnahme des Jauchetorfs durch Wasserverdunstung oder Durchsickern geringer Mengen Harn stattgefunden hätte.

100 kg Harn enthalten 6,40 kg Trockensubstanz und 0,82 kg Stickstoff; 138 kg Harn enthalten 8,83 kg Trockensubstanz und 1,13 kg Stickstoff; 100 kg Torfmull enthalten 82,85 kg Trockensubstanz und 0,76 kg Stickstoff; 15 kg Torfmull enthalten 12,43 kg Trockensubstanz und 0,11 kg Stickstoff.

138 + 15 = 153 kg Harn + Torfmull enthalten demnach 8,83 + 12,43 = 21,26 kg Trockensubstanz und 1,13 + 0,11 = 1,24 kg Stickstoff, oder in Prozenten: 13,90 % Trockensubstanz und 0,81 % Gesamtstickstoff, die sich aus 0,74 % Harnstickstoff und nur 0,07 % Torfmullstickstoff zusammensetzen.

In Wirklichkeit wurden, wie oben angegeben, in den Jauchetorfproben im Mittel 14,7 % Trockensubstanz und 0,87 % Gesamt-

stickstoff ermittelt, was dafür spricht, daß bei der 4tägigen Lagerung des Jauchetorfs in der Jaucherinne Wasser verdunstet ist.

Gewicht des **Superphosphat**jauchetorfs nach 4 Tagen beim Ausräumen der Jaucherinne.

Dem Torfmull wurden für die 3 Versuchstiere und 4 Tage Lagerung 8 kg Superphosphat beigemischt.

Da, wie bereits ausgeführt, durchschnittlich je Tag und Tier 11,5 Liter Harn in die Jaucherinne flossen, so errechnen sich für 3 Tiere und 4 Tage 138 Liter Harn. Bei 8 kg Superphosphat entspricht dies einem Zusatz von rund 5,8%.

Es hätte sich beim Ausräumen der Jaucherinne nach 4 Tagen folgendes Gewicht ergeben müssen: 138 kg Jauche + 15 kg Torfmull + 8 kg Superphosphat, zusammen also 161 kg.

Ich fand aber, wie nachstehende Zusammenstellung zeigt, im Mittel von 20 Wägungen 144,3 kg Harn + Torfmull + Superphosphat (Superphosphatjauchetorf).

146,5 kg	142,5 kg	
145,0 kg	142,5 kg	
145,5 kg	145,5 kg	
143,5 kg	146,0 kg	Mittel: 144,3 kg
144,5 kg	147,0 kg	Davon Harn 121,3 kg
142,0 kg	147,0 kg	Torfmull 15,0 kg
139,5 kg	145,0 kg	Superphosphat 8,0 kg
141,5 kg	143,5 kg	
144,0 kg	141,5 kg	
147,0 kg	146,5 kg	

Es fehlen also 161 weniger 144,3 = 16,7 kg, was ich wieder in erster Linie auf Wasserverdunstung in dem warmen Stall innerhalb der 4 Tage zurückführen möchte, zum Teil auch darauf, daß der Torfmull durch das Vermischen mit Superphosphat vielleicht nicht mehr seine volle Aufsaugungskraft ausüben konnte und Harn durchsickern ließ.

Jauchetorfproben der Gruppe mit Superphosphatzusatz.

	Reaktion	Wasser %	Trockensubstanz %	Gesamtstickstoff %	Ammoniakstickstoff %	Gesamtphosphorsäure %	Wasserlösliche Phosphorsäure %
1.	alkalisch	81,6	18,4	0,81	0,62	0,74	0,19
2.	alkalisch	82,3	17,7	0,78	0,49	0,82	0,13
3.	alkalisch	80,8	19,2	0,85	0,56	1,04	0,21
4.	alkalisch	81,2	18,8	0,80	0,58	0,91	0,18
5.	alkalisch	81,5	18,5	0,80	0,53	0,88	0,19
6.	alkalisch	80,2	19,8	0,88	0,60	0,94	0,11
	Im Mittel:	81,3	18,7	0,82	0,56	0,89	0,17

In der Trockensubstanz sind enthalten:
Im Mittel: 4,38% Gesamtstickstoff, davon 3,00% Ammoniakstickstoff, 4,76% Gesamtphosphorsäure, davon 0,91% wasserlösliche Phosphorsäure.

Es wurde auch hier wieder, wie bei dem Jauchetorf ohne Superphosphatzusatz, eine Berechnung hinsichtlich der theoretischen Werte für Trockensubstanz und Gesamtstickstoff durchgeführt.

138 kg Harn enthalten 8,83 kg Trockensubstanz und 1,13 kg Stickstoff; 15 kg Torfmull enthalten 12,43 kg Trockensubstanz und 0,76 kg Stickstoff; 8 kg Superphosphat enthalten 7,24 kg Trockensubstanz.

138 + 15 + 8 = 161 kg Harn + Torfmull + Superphosphat enthalten demnach 8,83 + 12,43 + 7,24 kg = 28,50 kg Trockensubstanz und 1,13 + 0,11 = 1,24 kg Stickstoff, oder in Prozenten: 17,70% Trockensubstanz und 0,77% Gesamtstickstoff.

Auf Grund des Anteiles von 8 kg Superphosphat an den 161 kg berechnet sich der Prozentgehalt desselben in dem Superphosphatjauchetorf zu 4,97%, entsprechend 0,94% Gesamtphosphorsäure und 0,91% wasserlöslicher Phosphorsäure.

In Wirklichkeit wurden, wie oben angegeben, in den Jauchetorfproben mit Superphosphatzusatz 18,7% Trockensubstanz, 0,82% Gesamtstickstoff, 0,89% Gesamtphosphorsäure, aber nur 0,17% wasserlösliche Phosphorsäure gefunden. Es hat demnach eine Festlegung derselben stattgefunden.

Im übrigen findet der etwas niedrigere Gehalt an Gesamtstickstoff in dem Superphosphatjauchetorf durch die Beimischung von 8 kg Superphosphat, die gewissermaßen eine Verdünnung des Gemisches Harn + Torfmull darstellt, seine Erklärung. Der Unterschied tritt naturgemäß besonders deutlich bei der Berechnung auf Trockensubstanz zu Tage (4,38 gegen 5,92% Gesamtstickstoff).

Maßgebend für die Beurteilung einer zusätzlichen stickstofferhaltenden Wirkung des Superphosphates zu der konservierenden Wirkung des Torfmulls ist das Verhalten der beiden Jauchetorfstapel bei der Lagerung, die von Mai bis März des nächsten Jahres dauerte.

Jauchetorfproben der Gruppe ohne Superphosphatzusatz, aus dem Stapel entnommen.

Proben entnommen im Monat	Wasser %	Trocken-substanz %	Gesamt-stickstoff %	Gesamtstickstoff in der Trockensubstanz %
Mai	84,0	16,0	0,73	4,56
August	80,9	19,1	0,73	3,82
Oktober	79,8	20,2	0,71	3,51
Januar	79,0	21,0	0,71	3,38
März	79,4	20,6	0,69	3,35

Die in der Zusammenstellung angegebenen Zahlen stellen bei jeder Probe Mittelwerte von Untersuchungen mehrerer kleiner Durchschnittsproben aus einer 5-kg-Probe dar.

Unter Zugrundelegung des Anfangsgehaltes des Jauchetorfs an Gesamtstickstoff in der Trockensubstanz (5,92 %) berechnen sich die Verluste an Stickstoff während der Aufstapelung des Jauchetorfs (Dezember bis Ende April) zu 23 %, während der Lagerung bis August (Sommermonate!) zu 35 %, bis Oktober zu 40,7 %, bis Januar zu 43 % und bis März zu 43,4 %.

In den Wintermonaten hat also nur noch eine geringe Zunahme der Stickstoffverluste stattgefunden.

Jauchetorfproben der Gruppe mit Superphosphatzusatz, aus dem Stapel entnommen.

Proben entnommen im Monat	Wasser %	Trockensubstanz %	Gesamtstickstoff %	In der Trockensubstanz %	Gesamtphosphorsäure %	In der Trockensubstanz %
Mai	79,5	20,5	0,89	4,34	0,97	4,73
August	75,1	24,9	0,91	3,65	1,21	4,86
Oktober	73,5	26,5	0,88	3,32	1,04	3,92
Januar	73,3	26,7	0,89	3,33	1,41	5,28
März	73,2	26,8	0,89	3,32	1,23	4,59

Die in der Zusammenstellung angegebenen Zahlen stellen bei jeder Probe Mittelwerte von Untersuchungen mehrerer Durchschnittsproben aus einer 5-kg-Probe dar.

Unter Zugrundelegung des Anfangsgehaltes des Superphosphatjauchetorfs an Gesamtstickstoff in der Trockensubstanz (4,38 %) berechnen sich die Verluste desselben an Stickstoff während der Lagerung von Mai bis August (Sommermonate) zu 16,7 %, bis Oktober zu 24,2 %.

Die Untersuchung der Maiproben ergab so gut wie keine Verluste an Stickstoff während der Aufstapelung, und bei den Januar- und Märzproben am Schluß der Lagerung war praktisch keine weitere Zunahme der Stickstoffverluste gegenüber Oktober festzustellen.

Während also der gewöhnliche Jauchetorf während der rund 4 Monate dauernden Stapelung 23 % an Stickstoff verloren hat, ist der Stickstoffgehalt des Superphosphatjauchetorfs praktisch der gleiche geblieben.

In den folgenden 6 Monaten sind bei der Lagerung des gewöhnlichen Jauchetorfs die Stickstoffverluste desselben auf fast 41 % angestiegen, die des Superphosphatjauchetorfs betrugen nach dieser Zeit etwas über 24 %, um dann nicht weiter anzusteigen. Beim gewöhnlichen Jauchetorf nahmen sie bis zum Schluß der Lagerung nur noch etwas zu und zwar bis rund 43 %.

Das Superphosphat hat also die stickstofferhaltende Wirkung des Torfmulls erheblich verstärkt.

Die Werte für Gesamtphosphorsäure in der Trockensubstanz weisen zum Teil nicht unerhebliche Schwankungen auf. Sie hätten an und für sich ziemlich konstant bleiben müssen. Ich führe dies darauf zurück, daß das Superphosphat sich in dem

Jauchetorf trotz sorgfältiger Mischung nicht gleichmäßig genug verteilt hat, so daß die verhältnismäßig kleinen Durchschnittsproben einen etwas voneinander abweichenden Gehalt an Superphosphat und damit auch an Phosphorsäure aufweisen mußten. Für die praktische Verwendung des Superphosphatjauchetorfs zur Düngung spielt dies aber keine Rolle.

Zusammenfassung.

Es wurden in 2 Kuhställen Versuche durchgeführt, um die stickstofferhaltende Wirkung von Superphosphat als Zusatzmittel zu Jauche und Jauchetorf festzustellen.

Bei den Jauchekonservierungsversuchen wurden bei der einen Gruppe je Tag und Tier 250 g Superphosphat in die Jaucherinne gestreut. Dies entspricht rund 3,1 %, bezogen auf die insgesamt angefallene Jauche. Unter Zugrundelegung der Ausgangswerte für den Stickstoffgehalt des frischen Harns der Versuchstiere und des endgültigen Gehaltes der beiden Jauchearten (ohne und mit Zusatz von Superphosphat) nach einer Aufbewahrungsdauer von rund 5 Monaten berechnen sich die Verluste der Jauche an Stickstoff bei der Superphosphatjauche zu 30,9 % gegenüber 64,4 % bei der gewöhnlichen Jauche.

Durch die Verwendung von Superphosphat sind also die Stickstoffverluste auf über die Hälfte herabgedrückt worden.

Bei den Jauchekonservierungsversuchen mit Torfmull, mit und ohne Zusatz von Superphosphat, wurden in die überdeckten Jaucherinnen für je 3 Versuchstiere 15 kg Torfmull gestreut, die immer nach 4 Tagen erneuert wurden. Bei der Superphosphatgruppe erfolgte eine innige Vermischung des Torfmulls mit 8 kg Superphosphat. Dies entspricht rund 5,8 %, bezogen auf die vom Torfmull aufgesogene Jauche. Der Jauchetorf beider Versuchsgruppen wurde in zwei getrennten Haufen aufgestapelt. Während der Aufstapelung (Dezember bis Ende April) verlor der gewöhnliche Jauchetorf rund 23 % Stickstoff, während beim Superphosphatjauchetorf der Stickstoffgehalt praktisch der gleiche blieb. Während der Lagerung (Mai bis März nächsten Jahres) erhöhten sich die Stickstoffverluste beim gewöhnlichen Jauchetorf auf über 43 %, beim Superphosphatjauchetorf auf rund 24 %. Das Superphosphat hat also die stickstofferhaltende Wirkung des Torfmulls erheblich verstärkt. [271]

Herstellung und Düngerwirkung der Jauchetorfkomposte*).

Von **W. Biastoch.**

Mitteilung aus der landwirtschaftlichen Versuchsstation Rostock in Mecklenburg. (Direktor Professor Dr. Nehring).

Eingegangen: 25. August 1938.

Einführung und Problemstellung.

Von den Anfängen des Ackerbaues bis vor hundert Jahren waren die wirtschaftseigenen Humusdünger nahezu die einzige Quelle, durch die dem Boden die durch die Ernten entzogenen Nährstoffe wieder zugeführt wurden. Mineraldunger kamen kaum oder nur sehr wenig in Anwendung. Als A. Thaer seine Theorie über die Ernährung der Pflanzen aufstellte, sah er daher nicht in den Mineralstoffen, sondern im Humus die wirksame Bodenkraft. Er glaubte, daß der Hauptnährstoff der Pflanzen die organische Substanz des Bodens sei, die Mineralstoffe dagegen nur als Reizstoffe eine gewisse Bedeutung hätten.

Mit dem Aufblühen der Naturwissenschaften trat für die Landwirtschaft eine umwälzende Epoche ein. Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erkannte J. v. Liebig die Bedeutung der Mineralstoffe für das Pflanzenwachstum. Auf Grund der damals bekannten Analysen der Pflanzenaschen stellte er Düngermischungen zusammen und zeigte damit, daß die Pflanzen auch auf sterilem Sand wachsen, wenn ihnen nur alle erforderlichen Nährstoffe geboten werden. Die Bedeutung der organischen Substanz im Boden leugnete Liebig vollkommen. Er meinte sogar, der Landwirt täte am klügsten, seinen Stalldung zu verbrennen und mit der Asche zu düngen.

Diese Erkenntnisse von Liebig bestimmten in der Folge die Weiterentwicklung der Landwirtschaft. Die wirtschaftseigenen Humusdünger verloren ihre überragende Bedeutung, die sie jahrtausendelang gehabt hatten. An ihre Stelle traten die industriellen Mineraldünger, welche sehr bald zu einem unentbehrlichen Faktor in der landwirtschaftlichen Betriebsführung wurden. Wie sie sich im Laufe der Jahre die Landwirtschaft erobert haben, zeigt am besten eine Zusammenstellung, die Wießmann (1) 1934 brachte. Danach stieg der Verbrauch an mineralischen Nährstoffen in den landwirtschaftlichen Betrieben in der Zeit von 1885—1913:

bei Stickstoff	von 30000 t	auf 185000 t
bei Phosphorsäure (P_2O_5)	von 15000 t	auf 555000 t
bei Kali (K_2O)	von 9000 t	auf 490000 t

In ungefähr dem gleichen Zeitraum (1878—1913 stiegen die Hektarerträge

bei Roggen	von 9,9 dz	auf 18,1 dz	d. h.	um 83%
bei Weizen	von 13,0 dz	auf 21,4 dz	d. h.	um 65%
bei Hafer	von 11,6 dz	auf 19,7 dz	d. h.	um 70%
bei S.-Gerste	von 13,3 dz	auf 20,7 dz	d. h.	um 56%
bei Kartoffeln	von 76,0 dz	auf 111,0 dz	d. h.	um 46%

Wirkten bei dieser Ertragssteigerung auch mancherlei andere Faktoren mit, wie die bessere Bodenpflege, die Züchtung ertragsreicherer Sorten u. a. m., so haben doch die Mineraldünger den größten Anteil daran gehabt. Die Liebigsche Theorie hatte dadurch eine Bestätigung erfahren, wie sie beweiskräftiger nicht erbracht werden konnte. Hinzu kam noch, daß im Laufe der Jahre die deutsche Anbaufläche erheblich erweitert wurde, denn die Brachen waren bald vollkommen von den Feldern verschwunden, da die mineralische Düngung dieser Wirtschaftsführung die Bedeutung genommen hatte.

So schien, nach den bisherigen Ergebnissen zu urteilen, die Steigerung der Erträge unserer Felder in der Hauptsache eine Frage genügender und

*) Diss. D. 28, Univ. Rostock, 1938.

sachgemäßer Mineraldüngung zu sein. Die Zeit nach dem Kriege hat jedoch zu wesentlich anderen Erkenntnissen geführt. Wir haben wieder gelernt, der „alten Bodenkraft“, in der Thaer die alleinige Nährstoffquelle der Pflanzen sah, mehr Beachtung zu schenken. Anlaß dazu gab, daß nach dem Kriege, besonders von Seiten der Stickstoffindustrie, ein weit größeres Düngerangebot vorhanden war als je zuvor, wodurch in diesen Jahren eine große Steigerung der Mineraldüngung einsetzte. Wenn in den Jahren 1913/14 die Düngung pro ha 6,2 kg N und 16,5 kg K_2O betragen hatte, so erhöhte sie sich in den Jahren 1926—32 auf 13 kg N und 24,2 kg K_2O(2). Die Mehrerträge, die man durch diese Maßnahme erzwingen wollte, traten jedoch nicht ein, vielmehr machte sich ein Ernterückgang bemerkbar, der (nach Ruschmann) in den genannten 7 Jahren im Durchschnitt 13,7 % gegenüber den Ernten von 1913 betrug. Der Grund für das Sinken der Erträge konnte danach nicht in falscher oder ungenügender Mineraldüngung liegen, sondern mußte andere Ursachen haben, und diese mußten zu einem großen Teil in dem starken Humusmangel unserer Böden zu suchen sein. Damit rückte das Problem der Bodenfruchtbarkeit erneut in den Kreis der wissenschaftlichen Forschung.

Für Liebig war der Boden nur der physikalische Standort der Pflanzen. Seit jener Zeit aber hat uns die Wissenschaft eine neue Welt erschlossen. Es ist dies die Welt der Mikroben. Wir wissen heute, daß in jedem Gramm fruchtbarer Ackererde etwa hundert Millionen Mikroorganismen leben. So wie ohne Mikroben kein höheres Tierleben möglich wäre, so bedeutungsvoll ist auch ihr Dasein für die normale Entwicklung des Pflanzenwachstums. Der natürliche Nährboden dieser Bakterienflora ist die organische Substanz des Bodens. Es muß daher, soll diese Welt im Erdreich ihre Funktionen ausüben, ein ausreichender Humusvorrat vorhanden sein. Kommt organisches Material in den Boden, so werden von den Mikroben zunächst die leicht angreifbaren Kohlehydrate zersetzt. Die bei dem Abbauprozeß entstehende Kohlensäure lockert die Ackerkrume auf. Dadurch wird, neben anderen Ursachen (Kalkung), jener Zustand erreicht, den der Landwirt mit „Gare“ bezeichnet und der ein wesentlicher Faktor der Bodenfruchtbarkeit ist. Andere Pflanzenbausteine, wie Lignine und Eiweißkörper, werden als aromatische Körper gar nicht oder, wie letztere, nur sehr schwer angegriffen. Sie reichern sich daher im Boden an. Aber auch sie erleiden allmählich durch die Arbeit der Mikroorganismen und durch chemische wie physikalische Vorgänge mancherlei Veränderungen, bis aus ihnen die gegen Zersetzung widerstandsfähigen Huminsäuren entstehen (3, 4). Diese stabilen Humussubstanzen sind in Schwarzerdeböden besonders reich vorhanden. Sie erhöhen die Sorptionskraft und das Pufferungsvermögen und geben damit jenen Böden die ihnen charakteristischen Eigenschaften.

Aus der Erkenntnis von der Wichtigkeit der organischen Düngung und dem Bestreben, die Ernährung unseres Volkes auf eigener Scholle sicherzustellen, erhob sich in den letzten Jahren die Forderung nach einer verstärkten Zufuhr von Humusdüngern. Das Interesse wandte sich zunächst den wirtschaftseigenen Düngern zu. Schon vor zwanzig Jahren hatte Krantz auf die schlechte Stallmistbehandlung hingewiesen und ein Verfahren ausgearbeitet, nach dem ein besserer Dünger erhalten werden sollte. Damals war er wenig beachtet worden. Erst in neuerer Zeit hat man die Bedeutung der Stallmistveredelung erkannt, und die Maßnahmen des Reichsnährstandes haben wesentlich dazu beigetragen, daß die verschiedenen Miststapelverfahren in der Praxis Eingang gefunden haben. Wenn auch zu erwarten ist, daß in einigen Jahren die meisten Betriebe zu einer sachgemäßen Pflege des Stallmistes übergehen werden, so wird, auch bei der besten Ausnutzung, dieser nicht immer ausreichen, unsere Böden mit dem nötigen Humus zu versorgen. Seit einiger Zeit versucht man daher, durch Kompostierung von Stroh unter Zusatz von Stickstoffverbindungen (Harnstoff, Kalkstickstoff u. a. m.) diesem Mangel abzuhelfen. Daneben hat sich in den letzten Jahren die Industrie diesem Gebiet zugewandt und eine Reihe von Humusdüngemitteln hergestellt, von denen der größte Teil auf der Torfgrundlage aufgebaut ist.

Da der Torf fast überall sehr billig zu beschaffen ist, lag der Gedanke nahe, auf dieser Basis eine neue Humusquelle für die Landwirtschaft zu er-

schließen, indem man dem Praktiker einen Weg zeigte, den Dünger im eigenen Betrieb selbst herzustellen. Eine für diesen Zweck sehr wichtige Nährstoffquelle besitzt die Landwirtschaft in der Jauche.

Durch unsachgemäße Behandlung gehen aus dieser noch heute, trotz vieler Bemühungen von Seiten der Wissenschaft, große Stickstoffmengen verloren. In einer Arbeit berechnet Nehring (3), daß durch die Verdunstung von Ammoniak aus der Jauche jährlich ungefähr 200000 t N verloren gehen. In dieser Arbeit weist Nehring darauf hin, durch welche Mittel die Verluste herabgesetzt werden können. Bei seinen Untersuchungen fand er, daß ein Zusatz von 7,5% Superphosphat zur Jauche und bei gleichzeitiger Anwendung von Torf ein solcher von 5% genügte, um die Stickstoffverluste praktisch zu unterbinden. Dies ergab sich nicht nur für die Aufbewahrung, sondern wirkte sich auch beim Ausbringen aufs Feld günstig aus. Denn dadurch, daß Ammoniak mit dem Superphosphat reagiert und eine feste Bindung eingeht, waren, auch bei der starken Verdunstung auf dem Felde, die N-Verluste nicht mehr erheblich, während andererseits bei der unbehandelten Jauche im Verlauf eines Tages etwa 40% des Stickstoffs verloren gingen. Was die Wahl des Superphosphats noch besonders günstig erscheinen läßt, ist die Tatsache, daß durch das Hineinbringen der Phosphorsäure die einseitigen Nährstoffverhältnisse der Jauche sehr verbessert werden. Die Verwendung des Torfs ist insofern bedeutungsvoll, als ein großer Teil der Betriebe keine ordnungsgemäße Jauchegrube besitzt, durch seine Anwendung aber die Möglichkeit gegeben ist, die Jauche für sich aufzufangen und den erhaltenen Jauchetorf durch Kompostierung zu einem wertvollen Humusdünger zu machen.

Über die Kompostierung des Jauchetorf stellte Nehring 1936 Untersuchungen an. Der bei seinen Versuchen ohne Zusatz von Superphosphat erhaltene Jauchetorf wurde zuerst mit Boden vermischt und später mit einer geeigneten Menge Thomasmehl versetzt. Nehring (4) fand übereinstimmend mit Maiwald (4), daß im Verlauf der Lagerung 30—40% des Stickstoffs verloren gingen, ein Verlust, der zum größten Teil durch Versickern entstanden war. Nehring prüfte weiterhin die Umwandlung der Stickstofformen im Verlauf der Kompostierung. Er fand, daß beim Vermengen des Jauchetorf mit Boden eine starke Nitrifikation einsetzte, die während der viermonatlichen Lagerung soweit ging, daß nur noch geringe Mengen Ammoniak vorhanden waren. Weiter konnte er feststellen, daß ein Teil des anorganischen Stickstoffs in organische Form übergegangen war.

Da mit den vorliegenden Ergebnissen die Frage der Jauchetorfkomposte nicht gelöst war, wurde dieses Problem vom Verfasser bearbeitet und wird Gegenstand vorliegender Arbeit sein.

Die Untersuchungen, die eine Fortführung der Arbeiten von Nehring sein sollten, hatten folgende Grundfragen zu prüfen:

1. Den Einfluß des Superphosphates bei der Jauchetorfgewinnung und -kompostierung in bezug auf die Stickstofferhaltung und die Veränderungen insbesondere der Stickstofformen und des organischen Materials durch die Kompostierung.

2. Die Düngerwirkung der Komposte und die Ausnutzung ihrer einzelnen Pflanzennährstoffe.

I. Die Kompostierung von Jauchetorf mit und ohne Zusatz von Superphosphat sowie die Veränderungen während der Kompostierung.

Die Untersuchungen des ersten Teils dieser Arbeit sollten die Fragen klären,

1. wie sich ein Superphosphatzusatz bei der Jauchetorfgewinnung und während der Kompostierung in bezug auf die Stickstofferhaltung auswirkt, und mit welchen N-Verlusten man rechnen muß, wenn man den Jauchetorf ohne Superphosphat herstellt, im Verlauf der Kompostierung aber Thomasmehl hinzusetzt.

2. welche Stickstoffumsetzungen durch die Kompostierung auftreten und inwieweit sich Unterschiede zwischen den Komposten bemerkbar machen.

3. inwieweit sich Veränderungen in der organischen Substanz durch die Kompostierung feststellen lassen.

4. welche Vorteile die Jauchetorfkompostierung gegenüber der üblichen Jauchebehandlung bietet.

Es ist in der Einführung darauf hingewiesen worden, daß ein Zusatz von Superphosphat zur Jauche die Ammoniakverluste herabsetzt. Es wurde darum ein Torfballen von 75 kg mit 16 kg (17,94 % P_2O_5) Superphosphat vermischt und dieses in die Jaucherinne eines Kuhstalls mit einem Bestand von sechs Tieren eingestreut. Anschließend hieran wurde ein Torfballen von 73 kg ohne Zusatz ausgestreut. Durch diese Gegenüberstellung sollte festgestellt werden, welcher Jauchetorf sich am besten zur Kompostierung eignet. Die Versuche begannen am 12. Dezember 1936 und wurden am 8. Januar 1937 beendet. Es wurde stets zweimal am Tage eingestreut und der gewonnene Jauchetorf in einem großen Faß, das im Stall aufgestellt war, gesammelt. Während der Dauer der Einstreu war das Futter der Tiere dasselbe, so daß man annehmen mußte, daß auch die Stickstoffausscheidungen sich nicht änderten. Es konnte dadurch die Frage geklärt werden, wie der Zusatz von Superphosphat sich bei der Jauchetorfgewinnung auswirkt. Nach dem jeweiligen Gebrauch eines Ballens wurde der erhaltene Jauchetorf zur Weiterverarbeitung auf das Gelände der Versuchsstation gebracht. Es war hier eine zementierte Anlage geschaffen worden, die durch Anstreichen mit Inertol undurchlässig gemacht worden war. Es sollte dadurch vermieden werden, daß Nährstoffverluste durch Versickern entstanden. In die Zementkästen wurden jeweils 115,5 kg Boden gebracht und ausgebreitet. Auf diese Unterlage wurden die Jauchetorfe dachförmig aufgesetzt und mit einer gleich großen Menge Boden abgedeckt. Die Erde war vorher gut gesiebt worden, so daß bei den späteren Probeentnahmen stets ein einheitliches Analysenmaterial erhalten werden konnte.

Im folgenden sind die Analysen des Ausgangsmaterials zusammengestellt; dabei wurde der Jauchetorf mit Superphosphat als Jauchetorf I und der ohne Beigabe von Superphosphat als Jauchetorf II bezeichnet. Diese Bezeichnung wird auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit beibehalten werden.

Der angewandte Torf hatte folgende Zusammensetzung:

	Trockensubstanz	Organische Substanz	Gesamt-N
Torf I	63,6 %	62,5 %	0,55 %
Torf II	64,2 %	63,0 %	0,58 %

Die Untersuchung des Bodens ergab folgende Werte:

Trockensubstanz	Gesamt-N	Nährstoffgehalt nach Neubauer	
		P_2O_5	K_2O
88,45 %	0,093 %	12,5 mg	29,0 mg

An Jauchetorf wurden erhalten:

	Gewicht	Aufgenommene Jauche	Kompostiert
Jauchetorf I	458 kg	367 kg	450,7 kg
Jauchetorf II	412 kg	339 kg	410 kg

Bevor die Jauchetorfe kompostiert wurden, war eine gute Durchschnittsprobe entnommen worden. Die Untersuchung des Materials ergab folgende Werte:

	Jauchetorf I	Jauchetorf II
NH_4-N	4,24 g/kg	2,66 g/kg
Gesamt-N	5,74 g/kg	4,32 g/kg
N-Gehalt der Jauche errechnet	6,03 g/kg	4,00 g/kg
P_2O_5	0,552 %	0,028 %
K_2O	1,05 %	0,99 %
pH	8,05 %	stark alkalisch

Die Gegenuberstellung läßt deutlich die Wirkung des Superphosphats erkennen. Dieser saure Phosphorsäuredünger hat einen großen Teil des Ammoniaks gebunden und dadurch die Jauche vor Stickstoffverlusten geschützt. Dies zeigt sich darin, daß in Jauchetorf I der Stickstoffgehalt der Jauche um 2 g je Liter hoher liegt als in dem Material, das ohne Zusatz gewonnen wurde. Ebenso hat das Superphosphat den p_H-Wert beeinflußt. Die zugesetzte Menge hat aber nicht ausgereicht, den Jauchetorf vollkommen zu neutralisieren. Die Reaktion ist auch hier noch schwach alkalisch. Der Unterschied im P_2O_5-Gehalt erklärt sich durch den Zusatz von Superphosphat zu Jauchetorf I; der K_2O-Gehalt ist bei beiden praktisch gleich.

Bald nach der Kompostierung froren die Haufen ein und tauten erst Anfang März wieder auf. Am 15. März wurden sie zum ersten Mal umgearbeitet. Die Haufen wurden in die Scheune gebracht und dort mehrmals durchgeschaufelt, damit Boden und Torf sich gut miteinander mischten. Auf diese Arbeit wurde größte Sorgfalt verwandt. Sie gestaltete sich jetzt am Anfang besonders schwierig, da die Komposte noch sehr feucht waren und deshalb ein gutes Vermischen mit dem ebenfalls feuchten Boden nur durch wiederholtes Durcharbeiten möglich war. Danach wurden die Komposte wieder aufgesetzt und mit 115,5 kg Boden bedeckt. Die gesamte Bodenmenge betrug jetzt 346,5 kg, also annähernd soviel wie die angewandte Menge Jauchetorf.

Vor dem Durchschaufeln war aus der Mitte der Komposte eine gute Durchschnittsprobe entnommen worden, die auf ihre Stickstoffverbindungen untersucht wurde. Es wurden dabei folgende Werte gefunden:

	Kompost I	Kompost II
Gesamt-N	5,77 g/kg	4,33 g/kg
NH_4-N	4,17 g/kg	2,66 g/kg

Die Ergebnisse stimmen genau mit den ursprunglichen Werten überein. Es sind also keine Veranderungen wahrend dieser Zeit eingetreten, wodurch die Zweckmäßigkeit dieser Lagerung sehr in Frage gestellt ist. Während der nun folgenden Liegezeit wurden die Komposte täglich mit Wasser überrieselt, um ein zu starkes Austrocknen zu vermeiden.

Am 12. April wurden die Komposte wieder durchgeschaufelt. Zu Kompost II wurden jetzt 17,4 kg (16,15 % zitronensäurelosliche P_2O_5) Thomasmehl zugegeben. Das ist der Menge an wasserlöslicher P_2O_5 gleich, wie sie im Superphosphat zu Jauchetorf I gegeben wurde. Es wurde nur soviel abgezogen, wie den weniger vorhandenen 2 kg Torf entsprechen.

Eine Durchschnittsprobe, die vorher aus den Komposten entnommen war, ergab folgende Analysenwerte:

	Kompost I	Kompost II
Gesamt-N	3,70 g/kg	2,64 g/kg
NO_2-N	0,66 g/kg	—
NH_4-N	2,23 g/kg	1,89 g/kg
pH	7,0	8,4

Der bei diesen Ergebnissen zunächst auffallende geringere Gesamtgehalt erklärt sich durch die Zugabe von 231 kg Boden, wodurch die Nährstoffe auf eine größere Masse verteilt worden sind. Bemerkenswert ist ferner die Tatsache, daß sich in dem Kompost, der unter Zusatz von Superphosphat bereitet wurde, eine erhebliche Menge Nitrit gebildet hat, während in Kompost II auch qualitativ keine Spur einer Nitrifikation festgestellt wurde. Da beide Komposte gleiche Behandlung erfahren hatten, muß dies dem Umstand zuzuschreiben sein, daß durch den Zusatz von Superphosphat ein Reaktionszustand im Kompost erreicht wurde, bei dem die bakteriellen Umwandlungen des Ammoniakstickstoffs einsetzen konnten.

Die p_H-Werte zeigen bei beiden Komposten eine Verschiebung. Der Reaktionszustand in Kompost I ist neutral geworden, was zweifellos eine Folge der Nitrifikation ist.

Am 14. Mai wurde die Kompostierung zunächst abgeschlossen und ein Teil der Komposte für Düngungsversuche abgenommen. Die Komposte waren vorher abgewogen worden, um auf Grund der Gewichte und der Analysen feststellen zu können, ob Stickstoffverluste während der Lagerung aufgetreten waren. Die Analysen wurden folgendermaßen ausgeführt: 100 g Kompost wurden 4 Stunden lang mit 1 Liter 1 n KCl-Lösung geschüttelt. Danach wurde abfiltriert und wiederholt gut mit 1 n KCl ausgewaschen. Vom Filtrat wurde eine entsprechende Menge für die Bestimmung von NH_4- und NO_2- + NO_3-N angewandt. Die beiden letzteren waren vorher qualitativ nachgewiesen worden. Dabei hatte sich gezeigt, daß in geringen Mengen NO_3-N vorhanden war. Der Rückstand wurde bei 50° getrocknet und nach der Kjeldahl-Methode aufgeschlossen.

Die Untersuchung ergab folgende Werte:

	Kompost I	Kompost II
Gewicht	709,5 kg	596,8 kg
Trockensubstanz . .	52,20 %	54,20 %
Gesamt-N	3,72 g/kg	2,64 g/kg
NH_4-N	1,75 g/kg	0,59 g/kg
NO_2- + NO_3-N . .	0,65 g/kg	0,74 g/kg
N festgelegt . . .	1,32 g/kg	1,31 g/kg
Festgelegt in % des Jauche-N	14,2 %	11,7 %
pH	6,7	7,6

Nach der Zugabe von Thomasmehl hat im Kompost II eine starke Nitrifikation eingesetzt. Die Umsetzungen sind hier bedeutend schneller erfolgt als in Kompost I, was aus dem Verhältnis von NH_4-N zu (NO_2- + NO_3-)N hervorgeht. Als Folge der Nitrifikation haben sich die p_H-Werte in Kompost I von 7,0 auf 6,7, in Kompost II von 8,4 auf 7,6 verschoben.

Außerdem fällt auf, daß ein erheblicher Teil des Stickstoffs festgelegt worden ist. Dies erklärt sich daraus, daß in den Komposten eine starke Vermehrung der Bakterien stattgefunden hat, wodurch ein Teil des anorganischen Stickstoffs zum Aufbau von Bakterieneiweiß herangezogen worden ist.

Auf Grund der Gewichte und der Analysenwerte konnten jetzt die in den Komposten vorhandenen Stickstoffmengen ermittelt und daraus die Verluste berechnet werden.

	Kompost I	Kompost II
Ursprünglich:		
Torf- und Boden-N .	650 g	680 g
Jauche-N	2155 g	1338 g
Insgesamt	2805 g	2018 g
Gefunden:		
Gesamt-N	2640 g	1575 g
Jauche-N	1990 g	895 g
Verluste an Jauche-N	7,5 %	33,0 %

Die Gegenüberstellung zeigt deutlich den großen Unterschied, der zwischen den beiden Komposten in bezug auf ihre Stickstofferhaltung besteht. Hatte sich das Superphosphat schon bei der Jauchetorfgewinnung gut ausgewirkt, so hat es während der 4½monatlichen Lagerung fast den gesamten Stickstoff erhalten können. Die geringen Verluste von 7,5% erklären sich zum Teil durch das wiederholte Umschaufeln und den damit verbundenen Materialverlust. Zu einem sehr ungünstigen Ergebnis hat die Kompostierung unter Zusatz von Thomasmehl geführt. Zwar muß berücksichtigt werden, daß ein großer Teil der N-Verluste dadurch entstanden ist, daß bei jedem Umstechen der Haufen mehrmals umgearbeitet wurde. Es ist verständlich, daß dadurch jedes Torfteilchen mit Luft in Berührung kam und die Verdunstung von NH_4-N dadurch stark gefördert wurde. Im Kompost I wirkte sich dies nicht aus, da der Stickstoff zum größten Teil gebunden war. Die Unterschiede, die zwischen den beiden Komposten bestehen, werden besonders deutlich, wenn wir die jetzt vorhandenen Stickstoffmengen vergleichen, die aus der Jauche stammen.

Es sind erhalten worden:

in Kompost I aus 359 kg Jauche 1990 g N,
in Kompost II aus 337 kg Jauche 895 g N.

Beziehen wir diese Werte auf 1 kg Jauche, so ergeben sich:

bei Kompost I 5,56 g N,
bei Kompost II 2,66 g N.

Diese Gegenüberstellung zeigt am besten den Vorteil, den ein Zusatz von Superphosphat bietet.

Nach Abnahme der für die Düngungsversuche bestimmten Kompostmengen wurde der Rest wieder aufgesetzt und bis zum 1. Oktober liegen gelassen. Dann wurden die Haufen erneut ausgewogen und untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung waren folgende:

	Kompost I	Kompost II
Gewicht	420 kg	340 kg
Trockensubstanz . .	52,4 %	54,8 %
Gesamt-N	3,56 g/kg	2,54 g/kg
NH_4-N	0,70 g/kg	—
NO_3-N	1,40 g/kg	1,09 g/kg
N festgelegt	1,46 g/kg	1,61 g/kg
Festgelegt von Jauche-N errechnet . . .	19,3 %	31,3 %
pH	4,4	6,4

Die Analysen wurden genau so ausgeführt, wie am 14. Mai. Sie zeigen uns, daß die Nitrifikation bis zur Nitratstufe fortgeschritten ist. Nitrit konnte in beiden Komposten auch nicht in Spuren nachgewiesen werden. Mit steigender Salpeterbildung haben sich auch die p_H-Werte weiterhin zum sauren Teil verschoben. In Kompost I hat es sich dahin ausgewirkt, daß die Tätigkeit der Nitritbildner aufgehört hat, so daß hier noch 1/3 des löslichen Stickstoffs als Ammoniak vorliegt. In Kompost II konnte dagegen keine Spur von Ammoniak nachgewiesen werden. Die Festlegung des Jauchestickstoffs hat weiter zugenommen; sie ist im Kompost II bedeutend größer, was damit seine Erklärung findet, daß hier beim p_H von 6,4 die Lebensmöglichkeiten der Mikroorganismen sehr viel günstiger sind, womit der Verbrauch an Stickstoff gesteigert worden ist. Verluste an Stickstoff sind seit Mai bei der Lagerung nicht mehr eingetreten.

In den Proben vom 14. Mai und 1. Oktober wurden fernerhin die Nährstoffe Kali und Phosphorsäure nach der Neubauer-Methode bestimmt. Die Ergebnisse sind in folgender Übersicht zusammengestellt:

	Kompost I		Kompost II	
	K_2O mg %	P_2O_5 mg %	K_2O mg %	P_2O_5 mg %
14. Mai 1937	369	104,0	338	40,0
1. Oktober 1937	423	94,6	387	40,0

Hieraus ist zu ersehen, daß auch in bezug auf die wurzellöslichen Nährstoffe zwischen den beiden Komposten deutliche Unterschiede bestehen. Die Nährstoffe in Kompost I sind viel besser aufnehmbar als in II. Dies tritt besonders stark bei der Phosphorsäure in Erscheinung. Etwas ausgeglichener sind die Verhältnisse beim Kali. Die Unterschiede sind hier nicht so groß. Bemerkenswert ist, daß im Verlauf der Lagerung eine Erhöhung der K_2O-Aufnahme stattgefunden hat, und zwar ist bei beiden Komposten der Wert um annähernd den gleichen Betrag von 50 mg gestiegen. Die Aufnahme von P_2O_5 hat sich dagegen in den 5 Monaten nicht geändert.

Im bisherigen Teil der Arbeit waren die Komposte bezüglich ihrer mineralischen Nährstoffe geprüft und beurteilt worden. Die

organische Substanz war dagegen unberucksichtigt geblieben. Auf diese wird im folgenden eingegangen werden.

Neben den Veränderungen der anorganischen Nährstoffe hat durch die Kompostierung auch eine Umwandlung des organischen Materials stattgefunden. Die mannigfachen Umsetzungen lassen sich hier nicht so verfolgen wie bei den Mineralstoffen. Die Schwierigkeit besteht einmal darin, daß das Material, welches zersetzt wird, sehr verschieden und meist von unbekannter Struktur ist, und andererseits, daß an dem Abbau verschiedene Arten von Mikroorganismen (aerobe und anaerobe Bakterien und verschiedene Schimmelpilze) beteiligt sind, wodurch die Substanz sehr unterschiedliche Umwandlungen erfährt. Daneben haben noch unbekannte chemische und physikalische Einflusse eine gewisse Bedeutung.

Durch die Arbeiten von Simon und Springer ist es uns aber möglich jene Stoffgruppen zu erfassen, die in gewissem Sinne als Endprodukt der Zersetzung betrachtet werden können. Diese unter dem Namen Huminsäuren in die Literatur eingegangenen Humussubstanzen haben trotz der nicht einheitlichen Zusammensetzung doch gemeinsame charakteristische Eigenschaften. Sie sind widerstandsfähig gegen Azetylbromid, wodurch sie sich gegen das übrige organische Material unterscheiden und losen sich ferner in Salzlösungen kalkfällender Säuren wie Natriumfluorid (-oxalat, -phosphat, -azetat) nach folgender Gleichung

$$\text{Ca-Humat} + 2\,\text{NaF} = \text{CaF}_2 + \text{Na-Humat}.$$

Bei der letzteren Behandlung erhält man je nach der Menge der in Losung gegangenen Huminsäure einen mehr oder weniger dunkel gefarbten Extrakt, dessen Farbtiefe mit einem Kolorimeter gemessen werden kann. Aus dieser Farbtiefe und der Permanganatzahl, die sich durch Behandlung des Extraktes mit Permanganat ergibt, hat Simon eine Bestimmungsmethode für Huminsäuren ausgearbeitet, welche für die folgenden Untersuchungen als Grundlage diente.

Zur Untersuchung gelangte das Kompostmaterial vom 1. Oktober, ferner ein Bodentorfgemisch in derselben Zusammensetzung wie bei den Komposten. Außer diesen wurde noch Fructopan und Nettolin untersucht, um durch diese Gegenuberstellung einen Vergleich mit den Handelshumusdungern zu haben. Von letzteren wurde dieselbe Menge an organischem Material (12,1 g) genommen, wie es bei den Komposten zur Anwendung kam.

Die Untersuchung wurde folgendermaßen durchgefuhrt: Es wurden 100 g der Komposte wie des Bodentorfgemisches und eine entsprechende Menge der Humusdünger mit je einem Liter 1% Natriumfluoridlosung behandelt. Nach einer Woche wurde abfiltriert und der dunkel gefarbte Extrakt weiter untersucht.

Die Bestimmung der Permanganatzahlen wurde so durchgefuhrt, wie von Simon (7, 8) angegeben worden ist. Es wurden 10 ccm des Extraktes mit 25 (bei Nettolin und Fructopan 50) ccm n/10 n Permanganatlösung versetzt. Hierzu wurden 20 ccm 2 n Schwefelsaure und 45 ccm Wasser gegeben. Die Lösung wurde in ein siedendes Wasserbad gesetzt und genau 15 Minuten gekocht. Danach wurde die noch heiße Lösung mit überschüssiger Oxalsäure entfärbt und anschließend mit Permanganat zurücktitriert. Die Ergebnisse, abzüglich des Blidversuchs, sind in der Tabelle angegeben.

Die Bestimmung der Farbtiefe erfuhr eine gewisse Abänderung dadurch, daß die Messung mit dem lichtelektrischen Kolorimeter von Dr. B. Lange durchgeführt wurde. Als Standardlösung diente Humussäure Merck. Es wurden davon 2 g (bezogen auf wasser- und aschefreie Substanz) mit einem Liter

1 % Natriumfluoridlösung behandelt und einige Tage stehen gelassen. Da diese Lösung für die Messung mit dem Kolorimeter zu stark gefärbt war, wurden hiervon mehrere Verdünnungen hergestellt, die vor der Messung auf n/2 NaOH eingestellt wurden. Die entsprechenden Lösungen hatten einen Humussäuregehalt von 0,05 fortlaufend bis 0,15 g im Liter. Hiermit wurde eine Eichkurve aufgestellt, mit der alle Extrakte bestimmt werden konnten, indem diese mit NaOH so verdünnt wurden, daß alle dieselbe Alkalität hatten wie die Standardlösungen und die Färbung im Bereich der Kurve lag. Es ergab sich hieraus die Notwendigkeit, die Farbtiefe direkt in Gramm wasser- und aschefreier Humussäure Merck im Liter anzugeben. Alle Werte, die in der Tabelle unter Farbung stehen, geben demnach an, wieviel Gramm wasser- und aschefreie Humussaure Merck dieselbe Farbtiefe haben wie 12,1 g organische Substanz des untersuchten Materials.

	Organische Substanz g	Permanganat-zahlen ccm	Färbungen = g Humussubst. g
Boden + Torf .	12,1	4,6	0,215
Kompost I . .	12,1	5,25	0,274
Kompost II . .	12,1	7,1	0,420
Fructopan. . .	12,1	27,8	0,520
Nettolin . . .	12,1	36,0	3,540

Die Ergebnisse zeigen, daß bei dem naturlichen Material aus den Komposten zwischen Permanganatzahl und Farbung ein deutlicher Zusammenhang besteht, wahrend dies bei den Handelshumusdüngemitteln nicht immer der Fall ist. Aus den Werten ergibt sich, daß die Zersetzung in Kompost I verhältnismäßig gering gewesen ist. Der Unterschied gegenuber dem Ausgangsmaterial beträgt in der Farbung nur 0,06 g und in der Permanganatzahl 0,6 ccm. In Kompost II dagegen hat die Zersetzung einen wesentlich hoheren Grad erreicht. Die Farbung ist um 0,21 g erhöht worden und der Permanganatverbrauch um 2,5 ccm. Der Grund für diese Unterschiede wird vor allem in den verschiedenen Reaktionsverhaltnissen zu suchen sein. Der Superphosphatkompost hatte im Mai einen p_H-Wert von 6,7, der dann bis zum Oktober auf 4,4 herabsank. Der Kompost war also so sauer geworden, daß die Bakterientatigkeit stark gehemmt war, wie wir bei den Stickstoffumsetzungen feststellten, und damit auch die Zersetzung des organischen Materials nicht weiter gehen konnte. Im Thomasmehlkompost lagen die Verhältnisse jetzt bedeutend gunstiger. Die p_H-Werte verschoben sich wähıend dieser Zeit von 7,6 auf 6,4. Sie lagen also im wesentlichen am Neutralpunkt. Der Bakterienflora war dadurch die beste Entwicklungsmoglichkeit gegeben, was schon bei den Stickstoffanalysen vom 1. Oktober festgestellt worden war. Es wurde dort gefunden, daß der Anteil an Stickstoff, der zum Aufbau von Bakterieneiweiß verbraucht worden war, bei diesem Kompost annahernd doppelt so groß war als beim Kompost I. Dies sagt uns aber, daß in diesem Kompost eine weit größere Bakterienflora vorhanden war und damit das organische Material stärker als im Superphosphatkompost angegriffen werden mußte. Wenn damit den Reaktionsverhältnissen eine entscheidende Rolle bei der Humifizierung zugeschrieben wird, so wäre die

Frage zu prüfen, wie sich ein Kalkzusatz zum Superphosphatkompost äußert. Denn es wird später gezeigt werden, daß der Thomasmehlkompost im Feldversuch relativ günstiger wirkte als der Superphosphatkompost. Ob dies allerdings eine Folge der unterschiedlichen Humifizierung war, konnte nicht geklärt werden.

Eingangs wurde festgestellt, daß bei Zusatz von Superphosphat der Jauchetorf ein wesentlich stickstoffreicheres Material lieferte. Um diese Ergebnisse weiterhin zu sichern, wurde im März nochmal eine vergleichende Torfeinstreu durchgeführt. Bei diesen Versuchen kam es vor allem darauf an, daß sich während ihrer Dauer die Stickstoffausscheidungen der Tiere nicht änderten und daß jedesmal unter gleichen Bedingungen die Jauche aufgefangen wurde. Die Einstreu wurde noch insofern erweitert, als zu den beiden Vergleichstorfen noch ein Torf mit erhöhtem Superphosphatzusatz hinzukam. Die verschiedenen Jauchetorfe wurden an drei aufeinanderfolgenden Tagen gewonnen. Dabei wurde für jede Einstreu dieselbe Tageszeit innegehalten. Die Untersuchung des Materials erfolgte noch am selben Tag und wurde innerhalb einer Woche mehrmals wiederholt. Die Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt. Sie geben den N-Gehalt je kg aufgefangener Jauche an. Die angewandten Superphosphatzusätze beziehen sich gleichfalls auf die erhaltene Jauche.

		Am selben Tag	Nach 1 Tag	Nach 3 Tagen	Nach 7 Tagen
Ohne Superphosphat	NH_4-N . . .	2,53	2,70	2,65	2,52
	Gesamt-N . .	3,20	3,20	3,22	2,94
	pH	8,6	—	—	8,8
5,4 % Superphosphat	NH_4-N . . .	1,22	1,61	2,13	3,25
	Gesamt-N . .	3,83	3,75	3,88	3,78
	pH	7,4	—	—	8,0
8,0 % Superphosphät	NH_4-N . . .	1,52	1,64	1,77	2,33
	Gesamt-N . .	4,33	4,20	4,28	4,35
	pH	6,5	—	—	7,3

Die Werte bestätigen zum großen Teil die ersten Ergebnisse. Wenn die Unterschiede bei diesem Versuch nicht so stark in Erscheinung treten, so liegt dies daran, daß die N-Ausscheidungen der Tiere in dieser Zeit geringer waren. Dadurch konnte sich auch die Verdunstung von Ammoniak nicht so stark bemerkbar machen. Immerhin zeigt uns aber die Zusammenstellung, daß schon am ersten Tage der Jauchetorf ohne Zusatz einen um 25% geringeren Stickstoffgehalt hat als der mit 8% Superphosphat. Zwischen beiden Werten liegt der Jauchetorf mit 5,4% Zusatz. Da man aus praktischen Gründen über die Menge von 5% nicht hinausgehen kann, so wird auch bei dieser Behandlung noch mit geringen Stickstoffverlusten zu rechnen sein. Es ist weiter bemerkenswert, daß durch Zusatz von Superphosphat die Umsetzungen von Harnstoff zu Ammonkarbonat wesentlich langsamer verlaufen. Besonders anschaulich zeigen dies die Analysen, die am dritten Tage gemacht wurden.

Um die Vorteile zu prüfen, die eine Torfeinstreu mit anschließender Kompostierung gegenüber der üblichen Jauchebehandlung bietet, wurde im Februar aus demselben Stall Jauche beschafft. Da der Weg über die Jauchegrube vermieden werden sollte, wurde sie beim Abfließen aus der Stallrinne aufgefangen und in einer großen Tonne gesammelt. Diese wurde dann auf das Gelände der Versuchsstation gebracht und dort mehrere Monate gegen Regen und Sonne geschützt aufgestellt. Zur Vermeidung von zu großen Stickstoffverlusten wurde sie außerdem gut mit Brettern zugedeckt. Während der Aufbewahrung wurden laufend Untersuchungen gemacht, die in folgender Tabelle zusammengestellt sind:

	26. 2. 1937	4. 4. 1937	20. 5. 1937	26. 8. 1937
NH_4-N	2,55 g kg	2,46 g/kg	2,16 g/kg	1,55 g/kg
Gesamt-N	3,13 g kg	2,98 g/kg	2,41 g/kg	1,78 g/kg
Verlust in % . .		4,6	23	43
P_2O_5	23,5 mg			
K_2O	9,2 mg			

Die Jauche hat also einen Nährstoffgehalt, wie er im Durchschnitt bei diesen Untersuchungen gefunden wurde. Die in bestimmten Zeitabständen ausgeführten Analysen zeigen, daß in der kalten Jahreszeit die N-Verluste nur sehr gering sind. Mit Eintreten des wärmeren Wetters steigt der Ammoniakverlust stark an. Durch ihn gehen innerhalb von 1½ Monaten über 18% der gesamten Stickstoffmenge verloren, was in Anbetracht der geringen N-Konzentration ein sehr hoher Betrag ist. Die Verluste gehen dann noch weiter und erhöhen sich bis Ende August auf 43%. Die Werte für Phosphorsäure und Kali entsprechen denen, wie sie bei den Jauchetorfen gefunden wurden.

Um die Unterschiede hervorzuheben, die in bezug auf die Stickstofferhaltung zwischen dieser üblichen Jauchebehandlung und der Jauchetorfkompostierung bestehen, stellen wir jetzt diesen Werten die Ergebnisse aus den Torfkomposten vom 1. Oktober gegenüber.

Wir fanden dort, bezogen auf ursprüngliche Jauchemenge:

bei Kompost I 5,56 g N im kg
bei Kompost II 2,66 g N im kg
bei Jauche 1,78 g N im kg (gefunden am 26. August.)

Durch diese Gegenüberstellung tritt der Vorteil der Jauchetorfkompostierung unter Zusatz von Superphosphat besonders stark hervor; denn der N-Gehalt ist trotz längerer Lagerung bei dieser Behandlung über 3mal so hoch wie bei der Jauche. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß beim Ausbringen aufs Feld bei den Komposten keine Stickstoffverluste mehr entstehen können, da Ammoniak gebunden bzw. zu Salpeter oxydiert worden ist, während andererseits bei der Jauche, wie in der Einführung gesagt wurde, noch große N-Mengen verloren gehen. Berücksichtigt man dies, so verschieben sich die Verhältnisse noch bedeutend weiter zugunsten der Komposte.

Die Düngerwirkung der Jauchetorfkomposte.

Mit dem durch die Kompostierung der Jauchetorfe erhaltenen Material (siehe Probe vom 14. Mai 1937) wurden Vegetationsversuche durchgeführt, um neben der chemischen Untersuchung auch die pflanzenphysiologische Wirkung der Komposte zu ermitteln. In den Gefäßversuchen sollte die Wirkung der einzelnen Nährstoffe (K_2O, P_2O_5 und N) gepruft werden. Im Feldversuch zu Mais waren die Kompostdünger in ihrer Gesamtheit zu beurteilen. In beiden Fällen wurden Mineraldünger, Jauche und Stallmist zum Vergleich hinzugezogen. Letzterer hatte folgenden Nahrstoffgehalt:

N = 0,30%
P_2O_5 = 0.30%
K_2O = 0,63%

Gefäßversuche mit Deutschem Weidelgras.

Die Versuchsdurchführung bei den Gefäßversuchen war so angeordnet, daß zu einer mineralischen Grunddüngung, die jeweils aus zwei Nährstoffen von je 1,6 g bestand, der zu prüfende in steigenden Mengen zugesetzt wurde. Als Grundlage für die Berechnung der Düngung dienten die Mengen an Nährstoffen, die von vornherein in dem Jauchetorf vorhanden waren, bzw. als Superphosphat oder Thomasmehl zugesetzt wurden. Es mußten sich daher bei der Stickstoffwirkung die N-Verluste während der Aufbewahrungszeit bemerkbar machen. Die Versuchsanordnung ergibt sich im einzelnen aus der folgenden Ertragszusammenstellung. Die Mineraldünger wurden in Form von K_2SO_4, $CaHPO_4$ und NH_4NO_3 gegeben. Als Boden diente für jedes Gefaß eine Mischung von 6,4 kg. Hohenbockaer Glassand mit 0,6 kg Boden.

Versuchspflanze: Deutsches Weidelgras.

Wiederholung: Vierfach.

Angesetzt und gedüngt wurde am 14. Mai; gesät am 18. und 19. Mai.

Im Verlauf der Vegetationszeit machte sich besonders die Wirkung des Stickstoffs deutlich bemerkbar, während demgegenüber die des Kalis und der Phosphorsäure nicht sehr in Erscheinung trat. Daneben zeigten sich besonders in der Stickstoffreihe zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Düngern. Die beste Stickstoffwirkung hatte bei allen Gaben die Mineraldüngung, der Kompost I trat demgegenuber etwas, der Kompost II dagegen stärker zurück. Bei den Töpfen, die mit Stallmist gedüngt waren, machte sich zunächst keine Wirkung des Stickstoffs bemerkbar, so daß der erste Schnitt nicht geerntet werden konnte. Bei den Töpfen, welche mit Jauche gedüngt waren, zeigten sich durchweg Vergiftungserscheinungen. Bei der ersten Einsaat gingen die Samen gar nicht auf, so daß nach einiger Zeit nochmal nachgesät werden mußte. Aber auch danach kam ein großer Teil der Samen nicht zum Keimen. Die Kali- und Phosphorsäurereihen zeigten zunächst keine Besonderheiten. Erst in der zweiten Vegetationsperiode traten Unterschiede insofern auf, als die Töpfe mit Mineraldungung deutlich hinter den anderen zurückblieben.

Geerntet wurde der I. Schnitt am 29. Juni, der II. Schnitt am 15. September.

Die Ergebnisse der Ernteuntersuchungen sind in den Tabellen 1—3 wiedergegeben.

Bei der Prüfung der Stickstoffwirkung zeigt sich ganz allgemein, daß die Erträge bei den Komposten, wie bei Stalldung und Jauche, hinter denen der Mineraldüngung zuruckbleiben.

Bei Kompost I hätte man, nach der Düngung zu urteilen (siehe 2. Spalte), bessere Ergebnisse erwarten können. Wenn dennoch eine Ertragsminderung gegenüber der Mineraldüngung eingetreten ist, so hat das vielleicht zwei Ursachen. Die Ergebnisse der Kom-

Tabelle 1.
Ergebnisse des N-Versuchs.

Düngung		Ertrag in g je Gefäß			N-Gehalt in %		N-Aufnahme	Ausnutzung in %
g Substanz	wirkl. N-Gabe	I. Schnitt	II. Schnitt	Gesamt	I. Schnitt	II. Schnitt		
Mineraldüngung.								
	0,2	8,0 + 0,2	3,3	11,3	1,03	1,33	0,126	63,0
	0,4	17,5 + 0,3	4,2	21,7	1,12	1,03	0,239	59,8
	0,8	31,7 + 0,7	7,5	39,2	1,44	0,94	0,527	65,8
	1,6	43,4 + 0,5	10,7	54,1	2,27	1,05	1,097	68,5
Kompost I (Superphosphat).								
69	0,194	6,7 + 0,2	3,8	10,5	0,95	1,34	0,115	59,3
139	0,388	14,8 + 0,7	4,4	19,2	1,04	1,13	0,202	52,1
277	0,776	25,4 + 0,5	6,4	31,8	1,35	1,01	0,407	52,5
554	1,552	35,7 + 0,9	10,9	46,6	2,05	1,08	0,850	54,7
Kompost II (Thomasmehl).								
89	0,133	4,5	4,2	8,7	0,93	1,42	0,102	76,7
178	0,266	9,6 + 0,4	4,4	14,0	0,95	1,19	0,143	53,8
355	0,532	18,5 + 0,6	5,6	24,1	1,20	1,14	0,285	53,6
710	1,064	27,0 + 0,5	9,2	36,2	2,03	1,05	0,644	60,7
Stallmist.								
67	0,2	—	4,5	4,5	—	1,49	0,067	33,4
133	0,4	—	5,5	5,5	—	1,45	0,080	20,0
266	0,8	—	7,5	7,5	—	1,33	0,100	12,5
533	1,6	—	10,3	10,3	—	1,30	0,134	8,4
Jauche.								
125	0,302	8,2 + 0,5	4,2	12,2	1,20	1,15	0,145	48,1
250	0,604	7,9 + 0,6	4,0	11,9	1,49	1,18	0,164	27,2
500	1,208	5,2 +	4,7	9,9	2,19	1,15	0,167	13,8

postuntersuchungen vom 14. Mai zeigten uns, daß zur Zeit der Düngung 14,3% des Stickstoffs festgelegt waren. Dieser Betrag steht den Pflanzen nicht sofort zur Verfügung. Ein Teil davon kann während der Vegetationsperiode gar nicht, der andere Teil erst spät zur Auswirkung gelangen. Dies druckt sich auch in den Ernteerträgen aus, denn vergleichen wir den zweiten Schnitt beim Kompost mit dem der Mineraldüngung, so ergibt sich, daß sowohl die Erträge wie die N-Aufnahme bei ersterem etwas höher zu sein scheinen. Ob daneben die saure Reaktion des Superphosphatkompostes auf die Erträge eingewirkt hat, konnte später nicht mehr entschieden werden. Bei dem geringen Pufferungsvermögen des Versuchsbodens, der ja zum größten Teil aus Quarzsand bestand, ist eine solche Wirkung aber nicht ausgeschlossen. Vergleichen wir die Ausnutzung des Stickstoffs mit jener der Mineraldüngung, so ergibt sich, daß diese bei der höchsten Gabe um 13,8% geringer ist.

Kompost II hat entsprechend der geringeren Stickstoffgabe auch weniger Erträge geliefert. Für diesen Versuch gilt in einer Beziehung dasselbe, was bei Kompost I gesagt wurde. Hier waren 11,7% N festgelegt, das hat sich dahin ausgewirkt, daß auch hier

Tabelle 2.
Ergebnisse des K_2O-Versuchs.

Düngung		Ertrag in g je Gefäß			K_2O-Gehalt i. %		K_2O-Aufnahme	Ausnutzung in %
g Substanz	K_2O-Gabe	I. Schnitt	II. Schnitt	Gesamt	I. Schnitt	II. Schnitt		
Mineraldüngung.								
	0,2	26,7 + 0,6	7,6	34,3	0,92	0,75	0,301	150,0
	0,4	31,9 + 0,9	9,5	41,4	1,14	0,96	0,456	115,0
	0,8	37,6 ± 0,3	9,1	46,7	1,72	1,09	0,745	93,5
	1,6	45,2 ± 0,7	9,8	55,0	2,78	1,28	1,380	81,2
Kompost I (Superphosphat).								
39	0,2	29,1 ± 0,2	7,7	36,8	0,88	0,92	0,328	164,0
79	0,4	37,2 + 0,8	10,0	47,2	1,30	1,06	0,591	147,0
158	0,8	42,5 ± 0,5	14,3	56,8	1,97	1,00	0,980	122,0
316	1,6	44,8 ± 1,1	16,0	60,8	3,65	1,21	1,829	114,0
Kompost II (Thomasmehl).								
36	0,2	30,4 + 0,3	10,3	40,7	0,55	0,83	0,252	126,0
72	0,4	32,1 + 0,8	11,4	43,5	1,12	0,63	0,431	108,0
144	0,8	36,8 ± 0,5	12,9	49,7	1,91	0,82	0,809	101,0
287	1,6	41,3 ± 0,5	12,4	53,7	3,03	0,92	1,363	85,2
Stallmist.								
32	0,2	19,5 ± 0,3	7,7	27,2	1,16	0,52	0,266	133,0
64	0,4	27,8 + 0,7	10,2	38,0	1,35	0,69	0,446	111,5
127	0,8	35,7 ± 0,8	11,6	47,3	1,95	0,82	0,791	99,0
254	1,6	39,1 ± 0,5	12,8	51,9	3,33	1,12	1,443	90,2
Jauche.								
44	0,4	29,3 ± 0,3	9,7	39,0	1,48	0,59	0,492	123,0
88	0,8	30,0 ± 0,2	11,0	41,0	2,37	0,67	0,785	98,0
176	1,6	31,3 + 0,5	11,9	43,2	4,58	0,85	1,535	96,0

beim zweiten Schnitt die Abweichungen gegenuber der Mineraldungung nicht so groß sind, wie beim ersten. Bemerkenswert ist noch, daß bei diesem Kompost der Stickstoff etwas besser ausgenutzt worden ist als bei I.

Die N-Wirkung des Stallmistes ist sehr gering geblieben. Nachdem schon der erste Schnitt nicht geerntet werden konnte, hat auch der zweite keine wesentlichen Ertrage gebracht. Die Zeit hat hier nicht ausgereicht, die Stickstoffverbindungen zu mineralisieren und sie damit den Pflanzen zugänglich zu machen. Dadurch ist auch die Ausnutzung des Stickstoffs bei allen Gaben sehr gering geblieben.

In der Jauchereihe waren, wie schon oben erwahnt, durchweg Vergiftungserscheinungen aufgetreten. Die Ergebnisse zeigen auch, daß die Ernteerträge mit steigender Düngung zurückgegangen sind. Es folgt daraus, daß die Jauchemenge für diesen Versuchsboden zu groß gewesen ist. Die erhaltenen Werte können daher nicht mit den andern Ergebnissen verglichen werden.

Aus der Zusammenstellung uber die Kaliwirkung geht hervor, daß dieser Nährstoff bei allen Dungern sehr gut ausgenutzt worden ist. Es bestehen aber doch zwischen den einzelnen Reihen deut-

Tabelle 3.
Ergebnisse des P_2O_5-Versuchs.

Düngung		Ertrag in g je Gefäß			P_2O_5-Gehalt i. %		P_2O_5-Aufnahme	Ausnutzung in %
g Substanz	P_2O_5-Gabe	I. Schnitt	II. Schnitt	Gesamt	I. Schnitt	II. Schnitt		
				Mineraldüngung.				
	0,2	36,9 ± 0,8	12,6	49,5	0,38	0,44	0,194	97,0
	0,4	37,5 ± 0,5	10,9	48,4	0,59	0,64	0,284	71,0
	0,8	37,7 ± 0,5	10,3	48,0	0,92	0,75	0,426	53,3
	1,6	36,8 ± 0,7	8,8	45,6	1,25	1,01	0,552	34,4
				Kompost I (Superphosphat).				
49	0,2	32,9 ± 0,4	13,0	45,9	0,32	0,36	0,152	76,3
98	0,4	35,7 ± 0,7	13,4	49,1	0,40	0,37	0,191	47,8
196	0,8	38,9 ± 0,9	14,9	53,8	0,47	0,41	0,247	30,9
391	1,6	40,8 ± 1,0	15,4	56,2	0,88	0,51	0,438	27,4
				Kompost II (Thomasmehl).				
41	0,2	37,0 ± 0,8	15,3	52,3	0,31	0,38	0,172	86,0
82	0,4	38,5 ± 0,4	16,5	55,0	0,37	0,58	0,239	59,8
165	0,8	39,4 ± 0,9	12,8	52,2	0,47	0,64	0,265	33,2
330	1,6	40,3 ± 0,5	15,4	55,7	0,63	0,68	0,359	22,4
				Stallmist.				
67	0,2	33,1 ± 0,5	14,1	47,2	0,27	0,33	0,136	68,0
133	0,4	35,8 ± 0,6	14,1	49,4	0,33	0,46	0,182	45,5
266	0,8	40,1 ± 0,8	13,7	53,8	0,46	0,62	0,269	33,6
533	1,6	34,9 ± 0,7	15,6	50,5	0,64	0,72	0,334	20,8

liche Unterschiede. Der Superphosphatkompost hat im allgemeinen höhere Erträge gebracht als die Mineraldüngung. Ebenso ist die Aufnahme von K_2O hier weitaus am besten gewesen; denn sie liegt bei der hohen Gabe um 0,45 g höher als bei jener.

Der Kompost II tritt demgegenüber etwas zurück. Dieser kann in seiner Wirkung der Mineraldüngung gleichgesetzt werden, wenn auch die Erträge etwas höher zu sein scheinen. Der Unterschied, welcher hier zwischen den beiden Komposten in Erscheinung tritt, steht im Einklang mit den Ergebnissen aus den früheren Neubauer-Analysen. Der Wert an wurzellöslichem Kali lag beim Kompost I immer etwas höher als bei II. Dies mag damit zusammenhängen, daß beim ersteren die Umsetzungen bedeutend schneller einsetzten und demzufolge auch länger andauerten als beim Thomasmehlkompost.

Die Kaliwirkung des Stallmistes ist ebenfalls sehr gut gewesen. Sind auch die Erträge etwas geringer als bei der Mineraldüngung, so ist doch durch die bessere K_2O-Aufnahme während der ersten Vegetationsperiode die Ausnutzung hier ebensogut wie dort.

Die Jauche hat bei diesem Versuch die geringsten Erträge geliefert. Da die Ausnutzung des Kalis dagegen sehr gut gewesen ist, ja der K_2O-Gehalt des ersten Schnitts sogar viel höher liegt als bei den übrigen Reihen, so läßt sich dies nur dadurch erklären, daß bei den hohen Gaben die große Jauchemenge schädlich gewirkt hat.

Die Ergebnisse des Phosphorsäureversuchs lassen erkennen, daß die Wirkung dieses Nährstoffes sehr gering gewesen ist. Schon bei 0,2 g sind bei der Mineraldüngung die Höchstertrage erreicht. Bei den Komposten wie beim Stallmist steigen dagegen die Erträge und liegen bei den hohen Gaben deutlich günstiger als bei der Mineraldungung. Auffallend aber ist, daß die Aufnahme von P_2O_5 bei ihnen trotzdem wesentlich geringer ist als bei jener. Es läßt sich weiter feststellen, daß im zweiten Schnitt bei Kompost II und Stallmist eine bessere P_2O_5-Aufnahme stattgefunden hat als beim ersten, wodurch die Ausnutzung, die noch im ersten Schnitt bei Superphosphatkompost besser war, jetzt bei den drei niedrigen Gaben beim Kompost II höher ist. Dies Ergebnis ist um so bemerkenswerter, als es im Gegensatz zu den Neubauer-Untersuchungen steht; denn wir fanden dort, daß die wurzellösliche Phosphorsäure in Kompost II mit 40 mg erheblich geringer war als bei I mit 94,6 mg. Wodurch im Vegetationsversuch eine Verbesserung der Phosphorsäurelöslichkeit entstanden ist, konnte nicht geklärt werden.

Die Jauchereihe mußte bei diesem Versuch ausfallen, da der geringe P_2O_5-Gehalt der Jauche die Untersuchung nicht ermöglichte.

Feldversuch mit Mais.

War in den Gefäßversuchen die Wirkung der einzelnen Nährstoffe geprüft worden, so sollten in dem Feldversuch mit Mais (Sorte Pfarrkirchner) die Kompostdünger in ihrer Gesamtwirkung beurteilt werden. Es war hierfur ein 1200 qm großes Feld auf dem Gelände der Versuchsstation vorgesehen. Vorfrucht war Winterweizen gewesen und anschließend war Winterroggen gesät worden, der vor diesem Versuch im Frühjahr untergepflügt wurde. Der Nährstoffgehalt des Bodens, der nach der Methode von Neubauer bestimmt wurde, ergab für Kali 15 und für Phosphorsaure 13 mg. Die Versuchsanordnung ergibt sich aus dem folgenden

Düngungsplan.

1. Mineraldüngung P + N (K_2O = 70 kg P_2O_5 = 56,5 kg N = 40 kg).
2. Mineraldüngung K + N.
3. Mineraldüngung K + P.
4. Mineraldüngung K + P + N (wie in Kompost I).
5. Mineraldüngung K + P + N + Zusatzdüngung: 30 kg N je ha, 20 kg P_2O_5 ha, 40 kg K_2O ha.
6. Kompost I entsprechend 40 kg N/ha.
7. Kompost I + mineralische Zusatzdüngung wie bei 5.
8. Kompost II bezogen auf dieselbe Jauchemenge wie Kompost I.
9. Kompost II + mineralische Zusatzdüngung wie bei 5.
10. Stallmist entsprechend 40 kg N/ha.
11. Stallmist + mineralische Zusatzdüngung wie bei 5.

Die Komposte sollten einmal mit Mineraldüngung und Stallmist verglichen werden und zum anderen untereinander, da für jeden Kompost die gleiche Jauchemenge zur Düngung angewandt wurde. Während in den Gefäßversuchen die Unterschiede in der Düngerwirkung nur durch die verschiedenen Verdunstungsverluste während der Lagerung hervortraten, kam hier noch der unterschiedliche N-Gehalt bei der Jauchetorfgewinnung hinzu. Die Verschiedenheit der beiden Komposte mußte dadurch noch mehr hervortreten. Wie weiter aus dem Plan hervorgeht, sollte daneben auch die Frage geprüft werden, wie sich eine gleiche anorganische Zusatzdüngung bei den Komposten, im Vergleich zu Stallmist und Mineraldüngung, auswirkt.

Als Grundlage der Düngung wurde der Superphosphatkompost genommen; und zwar sollte die Menge je Hektar angewandt werden, in der 40 kg N von vornherein vorhanden waren. Die geringen Verluste während der Lage-

rung wurden also bei der Berechnung der Düngung nicht berücksichtigt, so daß die N-Gabe bei diesem Kompost statt 40 kg/ha 38,9 betrug. Beim Kompost II kamen, da dieselbe Jauchemenge angewandt wurde, neben den N-Verlusten bei der Kompostierung noch jene bei der Jauchetorfgewinnung hinzu, so daß die Düngung hier nur 18,6 kg N betrug.

Die Mineraldünger wurden so bemessen, daß 40 kg N je Hektar gegeben wurden, und die Gabe für Kali und Phosphorsäure sich danach richtete, in welcher Höhe diese Nährstoffe in der angewandten Menge des Superphosphatkompostes vorhanden waren. Die Gaben an K_2O und P_2O_5, die im Thomasmehlkompost gegeben wurden, waren praktisch jener gleich.

Außer diesen Reihen wurde in einer Ecke des Feldes mit zweifacher Wiederholung noch ein Versuch angesetzt, der die Wirkung des Jauchestickstoffs prüfen sollte. Um einen Vergleich mit den Komposten zu haben, wurde dieselbe Menge Jauche angewandt. Da ihr N-Gehalt sehr niedrig war, betrug die Stickstoffgabe je ha nur 16,8 kg.

12. Mineraldüngung K + P.
13. Mineraldüngung P + Jauche.

Die Mineraldünger wurden in Form von Leunasalpeter, 40% Kalisalz und Superphosphat gegeben.

Wiederholung: 5fach.
Größe der Teilstücke: 19,8 qm.
Standweite der Pflanzen: 55 × 40 cm.
Pflanzstellen je Teilstück: 90.
Gedüngt wurde am 14. Mai 1937.
Gesät wurde am 15. Mai 1937.
Aufgegangen am 24. Mai 1937.
Gehackt und verzogen wurde am 3. Juni und 15. Juni 1937.

Gleich nach dem Ausstreuen der Dünger wurde das ganze Feld flach umgegraben und einen Tag später besät. Das Wetter war in dieser Zeit regnerisch und sehr warm, so daß die Saat bald keimte und sich überall sehr gut entwickelte. Mit dem Fortschreiten der Vegetation traten zwischen den einzelnen Parzellen deutliche Unterschiede hervor, die hauptsächlich durch die verschiedene Stickstoffdüngung bedingt waren. Besonders auffallend war, daß die Flächen mit Stallmist erheblich hinter den anderen zurückblieben. Hier war am Anfang gar keine Stickstoffwirkung festzustellen. Erst viel später, als das Wachstum in den übrigen Teilstücken sehr weit fortgeschritten war, schienen sie sich etwas zu erholen.

Die Blüte wurde ohne Unterschied bei allen Teilstücken gleichzeitig am 15. Juli festgestellt und die Reife mit geringen Ausnahmen am 1. September. In der Zeit vom 10. bis 16. September wurde der Mais geerntet. Die Stroh-ernte wurde gleich auf dem Felde abgewogen. Die Kolben wurden zunächst zum Trocknen aufgehängt und später ausgewogen und untersucht.

Die Ernteerträge und -untersuchungen sind in den Tabellen 4—6 zusammengestellt.

Bei Betrachtung der Ernteerträge macht sich vor allem die Stickstoffwirkung bemerkbar. Die Nährstoffe Kali und Phosphorsäure treten demgegenüber in ihrer Wirkung stark zurück. Durch Zugabe von Phosphorsäure ist eine geringe Erhöhung der Körnererträge festzustellen, während Kali die Strohernte etwas erhöht hat.

Bei der Prüfung der verschiedenen Dünger zeigt sich, daß der Superphosphatkompost die beste Wirkung gehabt hat. Der Mehrertrag gegenüber der Mineraldüngung beträgt in beiden Reihen 2 dz Körner und 3 dz Stroh. Diese Wirkung ist um so mehr hervorzuheben, als diese Flächen 1,1 kg Stickstoff je ha weniger bekommen hatten. Damit hat sich im Feldversuch die besondere Wirkung des Kompostdüngers erwiesen. Auch Kompost II hat, in Anbetracht der geringen Stickstoffgabe, eine sehr gute Ernte gegeben. Wenn

Tabelle 4.

Maisernte. Erträge in dz je ha bei 88% Trockensubstanz.

	N-Gabe in kg je ha	Körner	Stroh	Gesamternte
1. Mineraldünger ohne K	40	36,1 ± 0,21	45,9 ± 0,81	82,0
2. Mineraldünger ohne P	40	33,5 ± 0,26	48,8 ± 0,87	82,3
3. Mineraldünger ohne N	—	21,8 ± 0,13	31,9 ± 0,46	53,7
4. Mineraldünger K. P. N.	40	34,2 ± 0,23	47,5 ± 1,15	81,7
5. Mineraldünger K. P. N. + Zusatzdungung . .	70	41,3 ± 0,24	62,6 ± 1,53	103,9
6. Kompost I 138,5 dz . .	38,9	36,3 ± 0,35	50,8 ± 1,65	87,1
7. Kompost I 138,5 dz + Zusatzdüngung s. 5	68,9	43,6 ± 0,33	65,5 ± 1,90	109,1
8. Kompost II 124,5 dz .	18,6	32,6 ± 0,14	42,3 ± 1,22	74,9
9. Kompost II 124,5 dz + Zusatzdüngung s. 5	48,6	40,0 ± 0,36	53,9 ± 1,97	93,9
10. Stallmist 133,5 dz . .	40	22,6 ± 0,21	31,0 ± 0,23	53,6
11. Stallmist 133,5 dz + Zusatzdüngung s. 5 . . .	70	33,2 ± 0,27	42,3 ± 2,02	75,5
12. Mineraldünger ohne N	—	24,0	27,7	51,7
13. P + 6980 Liter Jauche	16,8	25,4	30,5	55,9

man berücksichtigt, daß diese Flächen statt 40 nur 18,6 kg Stickstoff je ha (siehe Tab. 6) bekommen haben, der Minderertrag aber nur 1,5 dz gegen Mineraldüngung ausmacht und 3,7 dz gegen Kompost I, so kommt man zu der Feststellung, daß die Stickstoffwirkung von Kompost II ebensogut, wenn nicht noch besser ist, als bei I. Dies gilt aber nur für die Körnererträge; denn die Strohernte ist so, wie aus der Düngung zu erwarten war.

Beim Stallmist ist fast keine Stickstoffwirkung festzustellen. Es liegt daran, daß dieser zu spät in den Boden kam und sich daher nicht auswirken konnte. Die Erträge sind genau so wie in dem Stickstoffmangelteilstück. Durch die mineralische Zusatzdüngung ist nur die Wirkung der Mineraldüngung festzustellen.

Die Ergebnisse aus den Teilstücken 12 und 13 müssen für sich betrachtet werden. Es zeigt sich, daß der Jauchestickstoff nur eine Ertragserhöhung von 1,4 dz Körner und 2,8 dz Stroh gegenüber dem N-Mangelteilstück 12 gebracht hat. Das Ergebnis ist als äußerst gering zu bezeichnen, wenn man demgegenüber feststellt, daß der Superphosphatkompost bei gleicher Jauchemenge 14,5 dz Körner und 19 dz Stroh Mehrertrag lieferte. Die schlechte Wirkung der Jauche erklärt sich dadurch, daß beim Ausbringen aufs Feld, wie in der Einführung gesagt wurde, noch erhebliche Stickstoffmengen verloren gehen, wenn die Jauche nicht sofort untergebracht wird.

In Tabelle 5 ist der Gehalt der Nährstoffe in den Ernteprodukten zusammengestellt. Die Unterschiede zwischen der verschiedenen Düngung sind hier nur sehr gering. Es ist allgemein die Tendenz vorhanden, daß der Kali- und Phosphorsäuregehalt im Stroh um so größer ist, je geringer die Masse ist. Dies zeigt sich in den Stallmist- und Jauchereihen, wie in den Teilstücken, die keine Stickstoffdüngung bekommen haben. Einen höheren Kaligehalt hat auch das Stroh von den Teilstücken, die nur mit Superphosphat

Tabelle 5.

% Nährstoffe in Trockensubstanz.

Teil-stück	Körner			Stroh			Spindeln		
	K_2O	P_2O_5	N	K_2O	P_2O_5	N	K_2O	P_2O_5	N
1	0,47	0,82	1,41	2,23	0,39	0,56	1,14	0,18	0,31
2	0,45	0,77	1,41	2,29	0,41	0,50	1,04	0,17	0,31
3	0,50	0,83	1,25	2,67	0,66	0,50	1,17	0,21	0,28
Mineralische Volldüngung.									
4	0,49	0,82	1,41	2,67	0,46	0,50	1,18	0,23	0,30
5	0,46	0,76	1,57	2,53	0,43	0,54	1,12	0,18	0,33
Kompost I (Superphosphat).									
6	0,44	0,73	1,51	2,80	0,46	0,59	1,25	0,23	0,32
7	0,42	0,73	1,57	2,32	0,39	0,59	1,12	0,17	0,31
Kompost II (Thomasmehl).									
8	0,51	0,89	1,46	2,52	0,47	0,54	1,09	0,19	0,28
9	0,47	0,79	1,57	2,53	0.44	0,53	1,14	0,15	0,32
Stallmist.									
10	0,47	0,80	1,28	3,02	0,73	0,53	1,24	0,26	0,33
11	0,46	0,78	1,40	2,72	0,68	0,56	1,04	0.21	0,27
Jauche.									
12	0,49	0,83	1,33	2,72	0,69	0,51	1,18	0,19	0,31
13	0,56	0,80	1,40	3,12	0,68	0,52	1,13	0,22	0,31

gedüngt waren. Hier, wie in den nächsten mit Zusatzdüngung, ist der Stickstoffgehalt im Stroh am größten.

In den Spindeln ergeben sich keine bemerkenswerten Unterschiede.

In den Körnern macht sich besonders die Stickstoffdüngung bemerkbar. Es sind dadurch nicht allein die Erträge gesteigert worden, sondern es konnte auch der Roheiweißgehalt der Körner beträchtlich erhöht werden. Denn multiplizieren wir die Stickstoffwerte mit dem Faktor 6,25, so ergibt sich in dem N-Mangelteilstück ein Eiweißgehalt von 7,8% und in den Teilstücken 5, 7 und 9 ein solcher von 9,8%. Die starken Stickstoffgaben haben also eine Erhöhung von 2% gebracht. Wie die Zusammenstellung zeigt, ist der höchste N-Gehalt in den Flächen festzustellen, die mit Kompost I gedüngt wurden. Danach kommt Kompost II und erst dann die Mineraldüngung. Der Stallmist hat sich gar nicht ausgewirkt, denn der Stickstoff ist hier genau so wie in dem Mangelteilstück.

Vergleichen wir die Teilstücke 4, 6, 8, 10, also jene, die nur die Volldüngung erhalten hatten, mit dem Teilstück, welches nicht mit Stickstoff gedüngt wurde, bezüglich ihrer Roheiweißerträge, so ergeben sich

bei 3 ohne N	1,5 dz,		
bei 4 Mineraldüngung	2,65 dz	also eine Erhöhung um	1,15 dz,
bei 6 Kompost I	3,0 dz	„ „ „ „	1,50 dz,
bei 8 Kompost II	2,62 dz	„ „ „ „	1,12 dz,
bei 10 Stallmist	1,59 dz	„ „ „ „	0,09 dz.

Durch den Jauchestickstoff wurde der Roheiweißertrag nur um 0,2 dz erhöht.

Durch diese Gegenüberstellung tritt die Wirkung der Komposte noch stärker als bei den Ernteerträgen hervor. Der Superphosphatkompost ist deutlich der Mineraldungung überlegen. Der Kompost II ist, trotz geringerer N-Gabe jener gleich, während Stalldung und Jauche kaum eine Eiweißerhöhung gebracht haben.

Im Phosphorsäuregehalt ist in den Körnern kein großer Unterschied festzustellen. Es scheint allerdings, daß Kompost II hier etwas besser als I gewirkt hat.

Tabelle 6.

Ausnutzung der Nährstoffe.

Teilstück	Düngung kg/ha			Aufnahme kg/ha			Ausnutzung der Düngergabe in %		
	K_2O	P_2O_5	N	K_2O	P_2O_5	N	K_2O	P_2O_5	N
1	—	56,5	40,0	94,0	39,7	64,8		—	—
2	70	—	40,0	99,0	37,8	61,2	—	—	—
3	70	56,5	—	75,6	31,8	36,6	—	—	—
Mineralische Volldüngung.									
4	70	56,5	40,0	112,3	41,7	61,4	26,2	6,9	61,8
5	110	76,5	70,0	137,9	48,2	84,1	40,0	13,6	68,0
Kompost I (Superphosphat).									
6	70	56,5	38,9	123,1	41,5	71,7	41,5	6,6	90,3
7	110	76,5	68,9	134,6	47,7	90,6	36,8	13,0	78,5
Kompost II (Thomasmehl).									
8	70	56,5	18,6	95,7	40,5	59,6	2,4	4,8	100,0
9	110	76,5	48,6	120,6	45,3	78,1	24,2	9,8	85,5
Stallmist.									
10	84	40,0	40,0	79,9	32,7	38,6	—	—	5,0
11	124	60,0	70,0	99,2	43,7	59,0	4,2	9,8	32,0
Jauche.									
12	70	56,5	—	66,9	31,2	39,3	—	—	—
13	63	56,7	16,8	82,3	32,9	43,8	24,4	—	26,8

In der Tabelle 6 sind die Nährstoffmengen angegeben, die durch die Ernte dem Boden entzogen worden sind. Aus diesen Werten und der Düngung ist die Ausnutzung der einzelnen Nährstoffe in den verschiedenen Düngern errechnet worden. Aus der Zusammenstellung ergibt sich, daß mit Ausnahme der Stallmistreihe mehr Kali und Stickstoff aufgenommen worden ist, als zugeführt wurde. Die Aufnahme der Phosphorsäure ist dagegen überall geringer gewesen.

Die Ausnutzung gibt jeweils die Mehraufnahme gegenüber dem Mangelteilstück in Prozent der Düngung an.

Wie bei den Gefäßversuchen, so ist auch hier die Kaliausnutzung beim Superphosphatkompost am besten gewesen. Danach kommt die Mineraldüngung, die nur wenig hinter Kompost I zu-

rückbleibt. Wesentlich geringer sind die Werte bei den übrigen Düngern. Der Kompost II tritt gegenüber den ersteren sehr stark zurück, und beim Stallmist ist die Aufnahme noch nicht so groß wie in dem Teilstück, das keine K_2O-Düngung erhielt. Die schlechte Ausnutzung des letzteren ist wohl durch die geringe Stickstoffwirkung zu erklären; denn der prozentuale Kaligehalt des Strohs war hier größer als bei den anderen Düngern. Verhältnismäßig gut ist das Kali der Jauche aufgenommen worden, was dadurch zu erklären ist, daß der Nährstoff in diesem Fall in gelöster Form und in guter Verteilung in den Boden kam.

Die Phosphorsäure ist überall sehr schlecht ausgenutzt worden. Es ist dadurch zu erklären, daß bei dem hohen Phosphorsäuregehalt des Bodens (13 mg nach Neubauer-Analyse), eine zusätzliche Düngung sich nicht sehr bemerkbar machen konnte. Es zeigt sich, daß das Superphosphat im Mineraldünger wie im Kompost ganz gleich und auch am besten gewirkt hat. Die Werte beim Thomasmehlkompost sind demgegenüber etwas schlechter, während beim Stallmist keine Erhöhung der Aufnahme eingetreten ist.

Wesentlich größere Unterschiede ergeben sich in der Ausnutzung des Stickstoffs. Mit Ausnahme von Stallmist und Jauche sind die Werte hier überall sehr hoch. Am besten ist dieser Nährstoff bei den Komposten ausgenutzt worden, wodurch ihre besondere Wirkung auch hier sehr stark hervortritt. Zwischen beiden aber bestehen noch Unterschiede, auf die schon früher bei den Gefäßversuchen hingewiesen wurde. So wie dort ist auch hier die Ausnutzung im Thomasmehlkompost besser als im Kompost I, obgleich auch diese schon mit 90,3 als sehr hoch zu bezeichnen ist, denn der Wert ist nahezu ein Drittel höher als bei der Mineraldüngung.

Die Ausnutzung des Stallmiststickstoffs ist mit 5% nur sehr gering. Wie schon bei den Gefäßversuchen festgestellt wurde, so hat auch hier im Feldversuch die Zeit nicht ausgereicht, um den Stickstoff zu mineralisieren. Die Düngung hätte wesentlich früher erfolgen müssen. Durch Zusatzdüngung ist eine geringe Steigerung eingetreten, die durch die gute Wirkung der Mineraldüngung zu erklären ist.

Die Ausnutzung des Jauchestickstoffs ist mit 26% gering. Es erklärt sich dadurch, daß die Hauptmenge des Stickstoffs durch Verdunstung auf dem Feld verloren gegangen ist und nur noch ein geringer Teil wirksam werden konnte.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Durch Zusatz von Superphosphat konnten bei der Jauchetorfgewinnung die Stickstoffverluste bedeutend herabgesetzt werden.

2. Während der Kompostierung machten sich zwischen den Superphosphat- und Thomasmehlkomposten deutliche Unterschiede bemerkbar. Die Umwandlungen des NH_4-Stickstoffs setzten beim Superphosphatkompost früher ein als beim Thomasmehlkompost. Aus dem Ammoniak entstand durch bakterielle Tätigkeit

Nitrit und hieraus durch weitere Umwandlung Salpeter. Als Folge dieser Umsetzungen wurde bei beiden Komposten ein Sinken der p_H-Werte festgestellt. Bei einem p_H-Wert von 4,4 hörte im Superphosphatkompost die Nitritbildung auf.

3. Während der Kompostierung wurde ein Teil des Stickstoffs zum Aufbau von Bakterieneiweiß verbraucht. Der Anteil war beim Thomasmehlkompost größer als bei Kompost I. Dies wurde damit erklärt, daß die Reaktionsverhältnisse die Vermehrung der Bakterien und als Folge davon die Festlegung des Stickstoffs beeinflussen.

4. Die Stickstoffverluste während der Lagerung betrugen beim Superphospatkompost 7,5%, beim Thomasmehlkompost dagegen 33%. Der N-Gehalt im Superphosphatkompost war im Mai mehr als doppelt so hoch wie in Kompost II.

5. Die Wurzellöslichkeit der Nährstoffe Kali und Phosphorsäure war im Superphosphatkompost besser als im Thomasmehlkompost. Bei beiden erhöhte sich die Kalilöslichkeit im Verlauf der Lagerung.

6. Die Untersuchung über die Zersetzung des organischen Materials in den Komposten zeigte, daß der Thomasmehlkompost stärker humifiziert war als der Superphosphatkompost, was darauf zurückgeführt wurde, daß, bedingt durch die günstigeren Reaktionsverhältnisse, bei ersterem eine regere Bakterientätigkeit vorhanden war.

7. Die durchgeführten Vegetationsversuche mit Deutschem Weidelgras ließen bei beiden Komposten eine geringere Ausnutzung des Stickstoffs erkennen als bei der Mineraldüngung, was auf die Festlegung zurückgeführt wurde. Die Wirkung des Kalis war bei Kompost I besser und bei Kompost II ebensogut wie bei den Mineraldüngern. Die Ausnutzung der Phosphorsäure war bei den Komposten geringer.

8. Im Feldversuch wurde eine sehr gute Wirkung der Komposte festgestellt. Der Superphosphatkompost brachte die besten Erträge. Auch die Wirkung des Thomasmehlkompostes war sehr gut. Durch Vergleich mit Stallmist und Jauche wurde die Wirkung der Kompostdüngung noch mehr hervorgehoben. Bei gleicher Jauchemenge war die Ertragssteigerung beim Superphosphatkompost 10mal so groß wie bei der reinen Jauche.

9. Die Stickstoffausnutzung war bei beiden Komposten bedeutend besser als bei der Mineraldüngung. Sie war in Kompost II höher als beim Superphosphatkompost. Die Kali- und Phosphorsäureausnutzung war dagegen bei letzterem besser.

10. Es wurde weiter festgestellt, daß durch Steigerung der Stickstoffdüngung eine Erhöhung des Roheiweißgehaltes in den Maiskörnern erzielt wurde. Die beiden Komposte wirkten in dieser Hinsicht am günstigsten.

Schrifttum:

1. Wießmann, H.: „Ausgleich zwischen künstlicher und natürlicher Düngung." Deutsch. Landw. Presse, Berlin, **45**, 1934, 554.
2. Ruschmann, G.: „Deutschlands Ernährung aus eigener Scholle eine Frage gesunder Humuswirtschaft." Ebenda 553.
3. Nehring, K.: „Über die Erhaltung des Stickstoffgehalts der Jauche durch Zusatz von Superphosphat und Torf." Bodenkunde u. Pflanzenernähr., 1939, Berlin (im Druck).
4. Reinhold, I.-Pillnitz: „Kompostierung." Forschung für Volk und Nahrungsfreiheit (Arbeitsbericht 1934 bis 1937 des Forschungsdienstes) 1938, 119-122.
5. Waksmann, S. A., u. U. Springer: „Der Platz der Huminsäuren in der Chemie des Humus." Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **37**, 1935, 52--55.
6. Springer, U.: „Ist der Begriff Huminsäuren heute noch berechtigt?" Ebenda 35, A, 1934, 334—343.
7. Simon, K.: „Färbungen und Oxydationswerte von Humusextrakten in gegenseitiger Beziehung." Ebenda **39**, 1935, 1—14.
8. Simon, K.: „Die charakteristischen Humusstoffe, ihre Beurteilung und ihre Bedeutung im Stalldünger." Ebenda **1** (46), 1936, 257. [265]

Über den Einfluß der Dämpfung auf die biologischen und chemischen Eigenschaften der Gartenerden*).

Von **Gerda Herzog**.

Aus dem Institut für landwirtschaftliche Bakteriologie und Bodenkunde der Universität Leipzig. Direktor: Prof Dr. Glathe.

Eingegangen: 26. Oktober 1938.

I. Einleitung.

Die Humuswirtschaft ist besonders intensiv im Gartenbau, da hier der Boden in weit stärkerem Maße beansprucht wird als in der Landwirtschaft. Vor allem bei Gewächshauserden wurden gelegentlich besonders auffällige Ertragsrückgänge beobachtet, man glaubte eine Art von Überalterung des Bodens annehmen zu müssen. Diese „Müdigkeitserscheinungen" sind auch in der Landwirtschaft nicht unbekannt, nur pflegen planmäßiger Fruchtwechsel und die starken Einflüsse der Jahreszeit mildernd zu wirken, während im Gewächshaus sowohl Temperatur als auch Feuchtigkeit in optimalen Grenzen gehalten werden, so daß die Tätigkeit des Bodens einseitig verstärkt wird. Hier blieb kein anderer Ausweg, als den Boden zunächst überhaupt aus dem Betrieb zu nehmen, und ihn im Gemisch mit anderen Stoffen erneut einem kostspieligen Kompostierungsprozeß zu unterwerfen. Jedes einfachere Verfahren, die Leistungsfähigkeit eines Bodens wieder herzustellen, mußte daher seitens des Gartenbaues mit besonderer Aufmerksamkeit verfolgt werden. Ein Fortschritt auf diesem Gebiete ist eigentlich einem Zufall zu verdanken.

In den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts litt der Weinbau Frankreichs stark unter der Reblaus. Zwecks Abtötung des Erregers behandelten Thénard und Monestier (4) den Boden mit Schwefelkohlenstoff. Hierdurch wurde nicht nur die Reblaus vernichtet, sondern es wurde auch ein erhöhtes Wachstum der Weinreben festgestellt. Welche Rolle dabei der Schwefelkohlenstoff im Boden spielte, war bei diesen Versuchen nicht bekannt. Aus den Untersuchungen Warringtons (5) ist jedoch zu ersehen, daß Schwefelkohlenstoff die Nitrifikation hemmte. Perraud (6) und Pagnoul (7) bestätigten seine Ergebnisse und beobachteten weiter, daß die Nitrifikation stickstoffreicher organischer Dünger zwar durch Schwefelkohlenstoff zunächst gehemmt wurde, daß die Nitratbildung aber später im verstärkten Maße einsetzte. Sie fanden außerdem, daß die meisten Mikroorganismen des Bodens abgetötet waren.

---

*) Diss. D. 15, Univ. Leipzig, 1938.

Daneben wird natürlich auch die botanische Zusammensetzung der Mikroflora des Bodens verändert. Wie aus den Untersuchungen von Hiltner und Störner (8) hervorgeht, stieg jedoch die Keimzahl sehr bald wieder an. Nach ihrer Meinung mußte auch ein stärkerer Angriff auf die organische Substanz des Bodens erfolgt sein. Auch bei späteren Arbeiten wurden ähnliche Ergebnisse erzielt (9). Die Tatsache, daß eine Behandlung des Bodens mit Schwefelkohlenstoff einen Teil der Mikroorganismen abtötete, führte dazu, sie als partielle Sterilisation zu bezeichnen.

Inzwischen hatte man erkannt, daß sich ein ähnlicher Erfolg im Boden auch durch Erhitzung erzielen läßt. Bereits 1888 behandelte Frank (10) den Boden drei Stunden mit strömendem Dampf und nahm an, daß nunmehr eine absolute Sterilisation erzielt worden sei. Das war jedoch, wie sich später zeigte, nicht der Fall. Die in dem erhitzten Boden gezogenen Pflanzen entwickelten sich deutlich besser. Frank stellte wäßrige Auszüge dieser Böden her und fand hierin erhöhte Trockenrückstände, die er als Ursache des besseren Wachstums ansah. Krüger und Schneidewind, Hasenbäumer, Coppenrath und König, Pfeifer und Franke (9) erhitzten Boden drei Stunden lang bei einer Atmosphäre Überdruck und fanden, daß die erzielte Ernte ein höheres Trockengewicht und einen größeren Stickstoffgehalt habe als die des unbehandelten Bodens. In weiteren Arbeiten (9) wurde erneut bestätigt, daß der organische Anteil eines Wasserauszuges mehr oder weniger durch eine partielle Sterilisation erhöht wird, je nachdem, ob ein humusreicher oder ein armer Boden behandelt worden war. Dietrich (11) und Schulze (12) fanden aber auch, daß die erwartete Zunahme der Fruchtbarkeit nicht immer auftrat und daß bei einigen Pflanzen sogar eine Schädigung durch die Bodenerhitzung erfolgte.

Pickering (13) stellte fest, daß die Keimung der Samen in partiell sterilisierten Böden deutlich gehemmt wurde. Er nahm an, daß eine wasserlösliche, stickstoffhaltige Verbindung gebildet würde, die auf die Keimung der Samen zunächst hemmend einwirke. Blieb der partiell sterilisierte Boden einige Tage stehen, so verschwand der hemmende Einfluß und die Pflanzen entwickelten sich dann schneller und besser als im unbehandelten Boden. Diese Umwandlung erfolgte aber nur, wenn die Luft ungehindert hinzutreten konnte; die Bewässerung des Bodens unterstützte den Vorgang.

Schreiner und Lathron (14) erhitzten den Boden drei Stunden bei 135° C und stellten einen Auszug mit 2%iger Natronlauge her. Dieser Auszug enthielt mehr Ammoniak und Amine als der des unbehandelten Bodens, ferner isolierten sie aus ihm Xanthin, Hypoxanthin und Cystin, Stoffe, die sie im unbehandelten Boden nicht hatten finden können. Sie nahmen daher an, daß alle diese Stoffe fördernd auf das Pflanzenwachstum einwirkten.

Osmun (15) untersuchte als erster die biologischen Zusammenhänge der Bodenerhitzung und fand, daß eine Woche nach einer halbstündigen Dampfbehandlung die Keimzahl stark zurückgegangen, daß sie aber bereits nach weiteren zwei Wochen auf das Doppelte ihrer ursprünglichen Höhe gestiegen war. Daraus ergab sich, daß die Einwirkung des Dampfes die bakterielle Tätigkeit des Bodens erhöht.

Umfangreiche Arbeiten auf diesem Gebiete verdanken wir Russell und Hutchinson (16, 17). Die Sterilisation des Bodens bewirkten sie einmal durch eine Erhitzung auf 98° C, das andere Mal durch eine Behandlung mit Toluol. Die Verfasser fanden, daß zunächst eine Abnahme, dann jedoch eine starke Zunahme der Keimzahl eingetreten war. Parallel zum Anstieg der Keimzahl erfolgte ein Abbau des Eiweißes und eine Anreicherung an Ammoniak. Wurde der sterilisierte Boden jedoch mit dem unbehandelten versetzt, so erfolgte nach einem vorübergehenden Anstieg eine Abnahme der Keimzahl. Im unbehandelten Boden mußte also ein Faktor vorhanden sein, der die Entwicklung der Keimzahl hemmte. Dieser Faktor mußte selbst leben, da er erst im Laufe der Zeit die Keimzahl des sterilisierten und geimpften Bodens verringerte. Es konnte kein Toxin sein, da im behandelten Boden, der nur mit dem wäßrigen Auszug des nicht sterilisierten Bodens versetzt worden war, die Keimzahl noch nach 210 Tagen über der des unbehandelten Bodens lag. Der Boden wurde daraufhin mikroskopisch untersucht. Im un-

behandelten Boden wurden Protozoen, im behandelten jedoch keine gefunden. Durch Untersuchungen über die Selbstreinigung von Flüssen und Abwässern war nun bekannt, daß Protozoen sich auch von Bakterien nähren. Somit ergab sich die Schlußfolgerung, daß die erhöhte Fruchtbarkeit partiell sterilisierter Böden durch eine verstärkte Bakterientätigkeit verursacht würde. Diese wäre durch das Abtöten der hemmenden Protozoen ermöglicht und führte zu einem stärkeren Abbau der Eiweißverbindungen, so daß es zu einer Ammoniakanreicherung im Boden kam.

Bei diesen Untersuchungen war ein armer Ackerboden verwendet worden. Russell und seine Mitarbeiter (18, 19) erhitzten nun auch ausgesprochen „müde" Gewächshauserden. Da hier dieselben Beobachtungen gemacht wurden, kamen die Verfasser zu der Überzeugung, daß die Müdigkeitserscheinungen der Gewächshauserden durch eine ungewöhnlich starke Vermehrung der Protozoen verursacht würde, die eine bakterielle Tätigkeit der Böden sehr stark einschränke.

Diese sogenannte „Protozoentheorie" wurde teilweise bestätigt, erregte andererseits aber auch Widerspruch (9). Hatten Russell und Hutchinson die gesteigerte Ammoniakbildung durch die intensive Tätigkeit der Bakterienflora erklärt, so weisen andere Autoren (9), darunter vor allem Waksman und Starkey (20) darauf hin, daß auch verschiedene Pilzarten Ammoniak bilden und stellen fest, daß diese nach einer partiellen Sterilisation ebenfalls stark zunehmen können.

In den letzten Jahren wird vor allem ein anderer Einwand gegen die Protozoentheorie erhoben. Man war wohl zu der Überzeugung gekommen, daß sich Protozoen in aktiver Lebensform im Boden befinden, jedoch herrscht keine einheitliche Meinung darüber, ob ihnen überhaupt ein entscheidender Einfluß auf die Höhe der Bakterienzahl zugesprochen werden kann, so daß ihre Vernichtung im gewöhnlichen Boden schon die folgende starke Zunahme der Keimzahl verursachen könne.

Koffmann (21) arbeitete eine Methode zur direkten Untersuchung und Zählung der Bodenprotozoen aus. Er impfte dann Bodenserien von verschiedenem pH-Wert und mit wechselndem Stickstoff- und Wassergehalt mit einer Mischkultur von Bodenprotozoen. Diese verursachten nur geringe Schwankungen des Ammoniak- oder Nitratgehaltes des Bodens. Bei der direkten mikroskopischen Untersuchung konnte er außerdem feststellen, daß die Protozoen im Boden in Form und Größe stark von den auf künstlichen Substraten gezüchteten abwichen. Er fand, daß die Anzahl und das Volumen der Bakterien im Boden so groß ist, daß die Protozoen im Vergleich zu ihnen keine wesentliche Rolle spielen können. Somit könne die Vernichtung oder Minderung der Protozoen durch eine partielle Sterilisation den folgenden starken Anstieg der Keimzahl nicht erklären.

Die wissenschaftliche Untersuchung der erhitzten Böden hatte also genau wie bei mit Desinfektionsmitteln behandelten Erden gezeigt, daß die partiell sterilisierten Böden eine erhöhte Fruchtbarkeit zeigten. Die Dämpfung erzielt also eine Wiederherstellung der ursprünglichen Leistungsfähigkeit des Bodens. Sie ist demnach in ihrem Erfolg mit der Schwarzbrache zu vergleichen, da lediglich ein Aufschluß der bereits im Boden enthaltenen Nährstoffe erfolgt.

Während in den Vereinigten Staaten bereits in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts (22) Versuche zur Erhitzung größerer Erdmengen durchgeführt wurden und sehr bald auch in England und in Holland (23) eine partielle Sterilisation durch Behandlung des Bodens mit Wasserdampf, später mit gespanntem Dampf erfolgte, wird in Deutschland eine Bodendämpfung erst in den letzten Jahren in größerem Umfange angewendet (24, 25). Obwohl nun ursprünglich nur in verseuchten Erden die Ertragsfähigkeit wieder hergestellt werden sollte, wird heute in vielen Gartenbaubetrieben bereits gedämpft, um eine Einschleppung von Seuchen zu verhindern, oder aber, um eine Steigerung der Ertragsfähigkeit auch der noch fruchtbaren Erden zu erzielen. Jedoch kann die Fruchtbarkeit eines Bodens lediglich durch Dämpfen nicht dauernd auf gleicher Höhe gehalten werden.

Das Ziel der Arbeit bestand nun darin, die durch die Dämpfung bewirkten Veränderungen des Bodens mit biologischen und chemischen Methoden zu erfassen.

II. Experimenteller Teil.

a) Allgemeine Methodik.

Aus der Übersicht ist zu entnehmen, daß der Vorteil einer partiellen Sterilisation des Bodens in erster Linie in einem Aufschluß stickstoffhaltiger organischer Substanz unter Bildung von Ammoniak besteht. Da der Stickstoffgehalt der in gärtnerischen Betrieben gedämpften Böden innerhalb weiter Grenzen schwankt und vor allem auch frische, noch nicht in den gartnerischen Betrieben verwendete Erden angeblich mit Erfolg gedämpft werden, erhebt sich zunächst die Frage, wie sich die verschiedenen im Gartenbau benutzten Erden bei der partiellen Sterilisation im strömenden Dampf verhalten.

Ferner konnte festgestellt werden, daß die bisherigen Versuchsergebnisse bei einer im Laboratorium vorgenommenen Dämpfung erzielt wurden und daß noch keine Ergebnisse mikrobiologischer Untersuchungen über die Wirksamkeit der im praktischen Betrieb gedämpften Böden vorliegen.

So erhitzten Russell und Hutchinson (16, 17) etwa 1—2 kg Boden 3 Stunden lang auf 98° C und hielten sie dann in mit Watte verschlossenen Gefäßen im Laboratorium. Waksman (20) erwärmte den Boden im Wasserbad eine Stunde lang auf nur 65° C.

Bei der Dämpfung größerer Erdmengen wird der Boden jedoch nur etwa 5 Minuten auf einer Temperatur von 98° C gehalten und infolgedessen konnte angenommen werden, daß die Wirkung nicht so durchgreifend war, wie in den besonders intensiv erhitzten Proben von Russell und Hutchinson. Es mußte immerhin mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß sich die so behandelten Böden in biologischer und chemischer Hinsicht anders verhielten. In erster Linie mußten daher die im Gartenbau üblichen Geräte verwendet werden, außerdem wurden die Böden auch nach der Dämpfung im Betrieb belassen, so daß die Lagerung in jeder Beziehung den praktischen Bedingungen entsprach.

Bis auf die Böden 10 und 12 wurden alle Erden in dem von Noll (24) beschriebenen Pillnitzer Erddämpfgerät behandelt.

Die Erde kam in einen $^1/_8$ cbm fassenden Dampftopf, der fest verschlossen wurde und mit einem Thermometer versehen war. Aus einem Niederdruckdampfkessel mit 5 qm Heizfläche wurde der Dampf in den Boden des Gefäßes eingelassen und durchströmte nun die Erde. Zeigte das Thermometer im Deckel des Dampftopfes 98° C, so ließ man den Dampf noch weitere 5 Minuten einwirken, öffnete dann den Topf und schüttete die Erde zu zirka $^3/_4$ Meter hohen Haufen auf, die schließlich noch mit Säcken abgedeckt wurden.

Untersucht wurden 12 Böden, wobei bei der Auswahl der Erden darauf Rücksicht genommen wurde, daß möglichst verschiedene gärtnerische Erden zur Verfügung standen, so z. B. sowohl saure als alkalisch reagierende, stark humusreiche Böden, aber auch solche mit geringerem Humusgehalt und andere wieder, die

eine tonige Beschaffenheit aufwiesen. Da dem Gärtner vor allem die Frage interessiert, ob der Boden sofort wieder bebaut werden kann, oder ob eine Schonfrist von einigen Tagen (in der Regel 6 Tage) eingehalten werden muß, wurden kurz nach der Dämpfung die Untersuchungen in kürzeren Zeitabständen vorgenommen. Es schien jedoch ratsam, die Prüfungen bis zum 42. Tage auszudehnen, da in dieser Zeit die höhere Temperatur mit Sicherheit wieder auf die Höhe der Außentemperatur gesunken war. Es wurden daher folgende Untersuchungstermine gewählt: kurz vor und sofort nach der Dämpfung, am 3., am 8., am 20. und am 42. Tage, wobei der Dämpfungstag als erster rechnete.

b) Biologische Untersuchungen.

Im allgemeinen wurde die erste Untersuchung des gedämpften Bodens spätestens 5—8 Stunden nach der Dämpfung vorgenommen, das war vor allem wegen einer exakten Erfassung der biologischen Faktoren unbedingt notwendig. Nur bei den aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau—Pillnitz stammenden Boden ließ sich diese Regel nicht einhalten, da der Versand der Erden etwa 20 Stunden in Anspruch nahm.

Die biologischen Untersuchungen wurden unter Verwendung naturfeuchten Bodens durchgeführt und ihre Ergebnisse sind auch auf je 1 g feuchter Erde bezogen.

1. Keimzahl und Zahl der sporenbildenden Bakterien.

Von sämtlichen 12 Versuchsböden wurden zu den oben genannten Zeitpunkten zunächst Keimzählungen nach der Plattengußmethode durchgeführt. Bei den Böden 3—12 wurde außerdem die Zahl der Sporen ermittelt.

Als Nährboden wurde Bodenextrakt-Agar verwendet und zwar wurde Sorge getragen, daß die Extrakte stets aus der gleichen Komposterde, die im getrockneten Zustande im Laboratorium vorrätig war, hergestellt wurde. Da ferner auch bei der Bereitung des Nährbodens nicht immer völlig gleichmäßig gearbeitet wird, sondern kleine Abweichungen hinsichtlich Reaktion unvermeidlich sind, wurde darauf geachtet, daß für eine Bodenserie der in einem Arbeitsgang angefertigte Agar Verwendung fand. Die Komposterde hatte eine Keimzahl von 8100000 je 1 g Erde, eine gesamt-organische Masse von 10,87% und einen Gehalt an Gesamtstickstoff von 0,3176%.

Die Herstellung des Extraktes erfolgte im wesentlichen nach den Vorschriften von Löhnis (26). Ein Kilogramm der getrockneten und auf 2 mm gesiebten Erde wurde in 1500 ccm Leitungswasser und mit einem Eßlöffel Kalziumkarbonat auf offener Flamme bis zur Schaumbildung gekocht. Nachdem der Boden erkaltet war, wurde er abfiltriert und das Filtrat auf 1000 ccm aufgefüllt, danach mit 1 g K_2HPO_4 versetzt und auf einen pH-Wert von 7,5 gebracht. Nach einer Zugabe von 20 g Agar wurde der Kolben auf 2 Atmosphären im Autoklaven erhitzt; nunmehr wurde als Kohlenstoffquelle log Mannit zugesetzt, die Reaktion nochmals überprüft und der Agar durch einen Buchnertrichter gegeben. Nach der Abfüllung wurde der fast klare Agar bei 1 ½ Atmosphären sterilisiert.

Um die Zahl der im Boden enthaltenen Sporen zu ermitteln, wurden ca. 12 ccm der Verdünnungen 10^2 bis 10^6 in sterile Reagensgläser pipettiert und im Wasserbad 20 Minuten auf 80° C gehalten.

Die Kulturen wurden in 2 Parallelen angesetzt und 5 Tage im Brutschrank bei 22° C bebrütet. Zur Auszählung gelangten die-

jenigen Platten, deren Koloniezahl sich zwischen 10 und 110 bewegte. Für die Böden 11 und 12 erfolgte nach weiteren 3 Tagen noch die Zählung der Aktinomyzeten.

2. Pilze.

Die Ermittlung der Zahl der Pilze erfolgte in der gleichen Weise, nur wurde an Stelle des Bodenextrakts ein Auszug aus Backpflaumen verwendet, der auf einen p_H-Wert von 5,5 gebracht war. Die Platten wurden ebenfalls bei 22° C bebrütet. Gezählt wurden diejenigen, die 1 bis 10 Kolonien enthielten.

3. Protozoen und Cysten.

Da bei der Protozoenzählung vor allem Vergleichszahlen ermittelt werden sollten, wurde die von Cutler (27) angegebene indirekte Zählung der Protozoen mit Hilfe des Mikroskopes in bestimmten Verdünnungen benutzt.

Als Nährboden fand derselbe Bodenextraktagar wie bei der Keimzählung Verwendung. Entgegengesetzt zu dieser wurde aber 1 ccm der Verdünnung auf den bereits erstarrten Agar in die Petrischale pipettiert. Um ein Austrocknen der bei 22° C aufbewahrten Kulturen zu verhindern, wurden sofort nach dem Impfen weitere 5 ccm sterilen Leitungswassers hinzugesetzt. In der überstehenden Flüssigkeitsschicht entwickelten sich die Protozoen. Die Kulturen wurden wöchentlich 4 Wochen lang untersucht. Da der Gehalt an Protozoen wesentlich niedriger lag als die Keimzahlen, wurden zusätzlich Verdünnungen 1 : 2500, 1 : 5000, 1 : 7500, 1 : 25000, 1 : 50000 usw. bis 1 : 1000000 hergestellt.

Für die Zählung der Cysten wurden 50 g Boden über Nacht in 200 ccm einer 2%igen Salzsäure stehen gelassen, am nächsten Tage auf 500 ccm mit sterilem Leitungswasser aufgefüllt und Verdünnungen wie oben angegeben hergestellt.

Aktive Protozoen wurden in den Plattenkulturen fast immer nur bis zur dritten Woche gefunden, wobei die mit den niedrigen Verdünnungen geimpften Kulturen sich zuerst encystierten. Bemerkenswert war, daß die am 3. Tage nach der Dampfung angesetzten Platten früher Protozoenentwicklung zeigten, als die sofort nach der Dämpfung hergestellten Verdünnungen.

4. Anaerobe Bakterien.

Zur Ermittlung der obligat anaeroben Bakterien wurden wie in Glathes Arbeit (28) Rettgers Eier-Fleisch-Nährboden und Ruschmanns Kartoffelbrei verwendet. Alle Röhrchen wurden nach der Methode von McIntosh und Fildes (29) bei 37° C in der Wasserstoffatmosphäre bebrütet. Bei der mikroskopischen Prüfung wurde Fuchsin zur Farbung verwendet.

c) Chemische Untersuchungen.

Alle chemischen Untersuchungen wurden im lufttrockenen Boden vorgenommen, der durch ein 2-mm-Sieb getrieben worden war. Die Untersuchungsergebnisse für den Gehalt an Phosphorsäure und an Stickstoff sind auf absolut trockenen Boden bezogen.

1. Wasserkapazität und Volumgewicht.

Diese wurden nach den Vorschriften H. Wießmanns (30) ermittelt. Die Angaben der Wasserkapazität erfolgen in Hundertteilen, das Volumgewicht wurde auf Wasser bezogen.

2. Reaktion und Titrationsazidität.

Es bestand die Möglichkeit, daß die Reaktionsverhältnisse durch die Bodendämpfung beeinflußt wurden. Daher lag es nahe, Reaktion und Titrationsazidität laufend zu beobachten.

Zur Bestimmung der Wasserstoffionen-Konzentration wurden 20 g des lufttrockenen Bodens mit 50 ccm destilliertem Wasser versetzt (30a). Nachdem die Aufschwemmung gut umgeschüttelt war, wurde sie $^1/_2$ Stunde stehen gelassen, die überstehende Flüssigkeit abgegossen und ihr die Bodenreaktion auf elektrometrischem Wege bestimmt. Gleichzeitig wurde die Reaktion auch in einer mit normaler Kaliumchloridlösung hergestellten Bodenaufschwemmung bestimmt. Schwierigkeiten bereitete nur die Heideerde „Mann", die Lauberde „Donner" und die Azaleenerde „Pillnitz"; bei ihnen mußte infolge ihrer hohen Wasserkapazität 100 ccm destillierten Wassers oder der Kaliumchloridlösung verwendet werden.

Die hydrolytische Azidität eines Bodens beruht auf der Fähigkeit, aus hydrolytisch spaltbaren Salzen, z. B. Natriumazetat, einen Teil der Base zu adsorbieren und dadurch eine äquivalente Menge Säure in Freiheit zu setzen. Wirkt sich eine Steigerung der hydrolytischen Azidität nur bei kalkbedürftigen Pflanzen als Ertragsverminderung aus, so ist die Austauschazidität schon allgemein schädlich, da sie das sichere Anzeichen einer fortschreitenden Basenverarmung des Bodens ist. Die Austauschkomplexe treten jetzt auch mit Neutralsalzen, z. B. Kaliumchlorid, in Reaktion. Stärkere Veränderungen der letzteren waren kaum zu erwarten, daher konnte im allgemeinen auf die Bestimmung der Austauschazidität verzichtet werden, während die hydrolytische Azidität laufend ermittelt wurde.

Nach Wießmann (30) erfolgen die Angaben der Titrationsazidität in ccm der n/10 Natronlauge, die zur Neutralisation von 125 ccm des Filtrats der Aufschwemmung von 100 g Boden mit 250 ccm n-Natriumazetat- bzw. Kaliumchloridlösung, nötig waren.

3. Gesamte organische Masse und deren leichtzersetzbarer Anteil.

Die Humusstoffe eines Bodens sind keine einheitliche Substanz, da sie aus den verschiedensten organischen Bestandteilen des Bodens entstanden und außerdem dauernden Veränderungen unterworfen sind.

Die Untersuchung erstreckte sich daher zunächst auf die Bestimmung der gesamten organischen Masse und auf deren mit Wasserstoffsuperoxyd zersetzbaren Anteil. Erstere wurde als Differenz zwischen der Trockensubstanz und dem Glührückstand ermittelt. Die leichtzersetzbaren Humusstoffe wurden nach G. W. Robinsons J. O. Jones (31) mit 3%iger Wasserstoffsuperoxydlösung bestimmt. In den Tabellen 1 bis 12 wird das Verhältnis der leicht zersetzbaren Humusstoffe zur gesamten organischen Masse in Prozenten der letzteren als Zersetzungsgrad angegeben.

4. Bestimmung der Phosphorsäure.

a) in 10%iger Salzsäure,
b) in 2%iger Zitronensäure.

Die in 10%iger Salzsaure und in 2%iger Zitronensäure lösliche Phosphorsäure wurde nach dem Vorschlag von N. Lorenz als Ammoniumphosphormolybdat bestimmt. Die Losung wurde durch ein halbstündiges Schütteln im Schüttelapparat erreicht. Die Untersuchungsergebnisse der Phosphorsäurebestimmungen sind als P_2O_5 berechnet und auf absolut trockenen Boden bezogen.

5. Stickstoffgehalt.

Der Stickstoff des Bodens liegt einmal in organischer Bindung vor, ferner als NH_3 oder N_2O_5. Der mineralische Anteil ist im Gegensatz zum Humusstickstoff nur gering. Da eine stärkere Einwirkung der Erhitzung auf die organische Substanz des Bodens zu erwarten war, mußte das Ergebnis sich vor allem in dem Verhältnis der verschiedenen Stickstofformen ändern.

Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs erfolgte wie üblich nach Kjeldahl. Der als Ammoniak vorhandene Stick-

stoff wurde mit Magnesia usta überdestilliert und in n/10 Schwefelsäure aufgefangen.

Die Reduktion des Nitratstickstoffs wurde unter folgenden Bedingungen vorgenommen: Nachdem das Ammoniak mit Magnesia usta überdestilliert worden war, blieben die Kolben bis zum Erkalten stehen; es wurden dann neue Mengen n/10 Schwefelsäure vorgelegt und jeder Kolben mit 2 g Devardascher Legierung und weiterer Magnesia usta beschickt. Da Magnesia usta und Devardasche Legierung in der Kälte kaum miteinander reagieren, wurde sofort erhitzt, jedoch die Flamme so klein eingestellt, daß ein Sieden der Flüssigkeit frühestens nach einer Stunde eintrat. Blindbestimmungen in den Kolben ohne Zusatz der Legierung ergaben keine oder so geringe Werte, daß sie unberücksichtigt bleiben konnten. Der Eigenstickstoffgehalt der Legierung, der durch Kochen der wäßrigen Anschüttelung dieser mit Magnesia usta bestimmt wurde, betrug durchschnittlich 0,035 mg N je 100 g Legierung, somit konnte auch er außer acht gelassen werden.

Von den ersten drei Böden waren Nitratbestimmungen sowohl nach Jodlbaur (Reduktion mit Phenolschwefelsäure) wie nach der oben beschriebenen Methode durchgeführt worden. Da jedoch die Differenz in den Ergebnissen der beiden Bestimmungsarten bei der Verwendung von 10 g bzw. 2 g Boden 0,5 mg N je 100 g Erde nicht überschritten, wurde für die restlichen Böden nur noch die oben beschriebene Methode verwendet. Sie war durch Verwendung der zur Ammoniakbestimmung benutzten Kolben in sehr kurzer Zeit durchführbar.

Die Ergebnisse der Stickstoffbestimmungen sind wie die der Phosphorsäure auf Trockensubstanz umgerechnet und fur den Gehalt an Ammoniak bzw. Nitrat in mg N je 100 g Boden angegeben.

III. Untersuchungsergebnisse an den einzelnen Böden.

Da die gestellte Aufgabe darin bestand, die infolge einer Dämpfung bei allen Böden stets wiederkehrenden Veränderungen in biologischer und chemischer Hinsicht zu erforschen, soll zunächst das Verhalten der einzelnen Böden untersucht werden. Die Reihenfolge der Böden richtet sich lediglich nach der zeitlichen Folge ihrer Dämpfung und Untersuchung.

1. Komposterde „Richter".

Die Komposterde wurde aus verschiedenen bei Topfpflanzen schon einmal verwendeten Erden hergestellt. Es handelt sich um eine an Stickstoff und organischer Substanz reiche Erde von neutraler Reaktion. Die Wurzelrückstände waren im Boden belassen worden und kaum zersetzt. Da einige Topfkulturen des letzten Jahres Pilzbefall gezeigt hatten, entschloß man sich zur Dämpfung des Bodens, sie wurde am 27. November 1936 vorgenommen. Die Lagerung der gedämpften Erde erfolgte in einem ungefähr 70 cm hohen Haufen. Sofort nach der Dämpfung trat starker Frost auf, der aber nur einige Tage anhielt, später folgte regnerisches Wetter.

Der ungedämpfte Boden hatte eine Keimzahl von 15,3 Mil-

Tabelle 1.

Komposterde aus dem Gartenbaubetrieb „Richter", Wiederitzsch bei Leipzig.
Gesamtstickstoff ‰: 3,1267. Volumgewicht: 1,046.
Gesamtorganische Masse: 9,5 %. Reaktion pH: 6,9.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft 1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	15,3	1,46	2,32	0,01	0,25	12,7
Sporen in Mill. je 1 g Erde	—	—	—	—	—	0,013
Pilze je 1 g Erde	80000	—	—	10	10	100
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	75000	--	1000	100	1000	1000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	1000	—	1000	—	100	100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	1,00	0,10	0,10	0,01	0,10	1,00
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß.	0,10	0,01	0,001	0,01	0,01	1,00
Hydrolytische Azidität in ccm	0,8	1,1	1,2	1,0	0,9	0,75
Wasserkapazität %	53,32	56,90	61,64	57,73	66,64	70,56
Wassergehalt %	24,4	27,2	27,0	26,9	26,6	23,8
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse . .	73,81	74,63	65,38	62,21	59,22	67,73
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde . . .	1,3954	1,6077	2,0346	2,2770	2,1328	2,4055
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	0,6332	0,8654	0,7325	1,3126	0,7137	0,7393
mg NH_3-N je 100 g Erde .	2,74	23,8	7,23	2,37	3,61	4,04
mg NO_3-N je 100 g Erde .	37,37	33,21	39,27	35,77	31,97	33,73

lionen je 1 g Erde (Tab. 1). Durch die Dampfung erfolgte ein Rückgang in der Keimzahl auf 10%, und es war anzunehmen, daß nunmehr ein Anstieg der Keimzahl eintreten wurde. Wider Erwarten war jedoch bis zum 8. Tage nochmals ein Rückgang erfolgt. Obwohl dann am 20. Tage die Keimzahl zunahm, betrug sie am 42. Tage immer noch nur 12,7 Millionen. Da weder die Anzahl der Protozoen noch die Pilze nach 6 Wochen ihre ursprüngliche Höhe erreicht hatte, ist eine Hemmung weder durch die eine noch durch die andere Gruppe wahrscheinlich. Es war daher zu erwägen, ob Temperatur, Feuchtigkeit oder Reaktion eine gesteigerte Bakterientätigkeit verhindert hatten, oder aber, ob eine jahreszeitliche Beeinflussung vorlag.

Die Reaktion des Bodens mit einem pH-Wert von 6,9 lag über der von Waksman (33) gefundenen „kritischen" Reaktion von 6,0. Die hydrolytische Azidität beträgt im ungedämpften Boden 0,8 ccm, durch die Erhitzung erfolgte in ganz geringem Maße und nur vorübergehend eine Bildung von Säuren. Der Wassergehalt der Erde zeigte zwar unmittelbar nach der Dämpfung einen schwachen Anstieg von 24% auf 27%, da aber dann eine ununterbrochene Abnahme auf 23,8% folgte, kann der Feuchtigkeitsgehalt nicht ausschlaggebend gewesen sein. Dieses ist auch um so unwahrscheinlicher, als noch nicht einmal 50% des gesamten Wasser-

haltungsvermögens abgesättigt war, so daß kein Sauerstoffmangel geherrscht haben kann. Außerdem steigt die Wasserkapazität bei sinkendem Wassergehalt, der Boden ist also relativ trockener geworden. Es ist demnach mit Bestimmtheit anzunehmen, daß die niedrigen zeitweilig unter 0° C liegenden Temperaturen zu einer stärkeren Hemmung der Mikroorganismen geführt haben.

Die Menge des Ammoniaks steigt sofort nach der Dämpfung innerhalb eines Tages auf etwa das 9fache seiner ursprünglichen Höhe. Es ist daher anzunehmen, daß im Kompost besonders leicht zersetzbares Eiweiß enthalten war, das sofort angegriffen wurde. Es ist völlig ausgeschlossen, daß die Bakterien für diese Ammoniakbildung verantwortlich gemacht werden können, denn wie aus Tabelle 1 hervorgeht, nimmt die Gesamtkeimzahl in der gleichen Zeit ganz erheblich ab. Später fällt der Ammoniakgehalt wieder, um am 8. Tage seinen tiefsten Stand zu erreichen. Vom 9. Tage an beginnt ein erheblicher Anstieg der Keimzahl und auch im Gehalt an Ammoniak ist eine Zunahme zu verzeichnen. Hier liegt zweifellos eine biologische Eiweißzersetzung vor. Eine Bildung von Nitrat erfolgt nicht, während die Phosphorsäure zum Teil in Lösung geht, wie die Ausschüttelungen mit Salzsäure und mit Zitronensäure zeigen.

2. Heideerde „Mann".

Der zweite der zur Untersuchung gelangenden Böden war eine Heideerde, wie sie für Erikenzucht in den Handel gebracht und verwendet wird. Da derartige Erde in der näheren Umgebung Leipzigs nicht in größeren Mengen vorkommt, wird sie in der Regel von auswärts bezogen, und zwar stammte die untersuchte Erde aus Thüringen. Im feuchten Zustand ließ sich die Erde nicht zusammenballen, sondern war auch dann noch völlig locker. Die einzige Bindung bestand in pflanzlichen und pilzlichen Bestandteilen, die den Boden zunächst leicht filzig erscheinen ließen. Infolge seines hohen Gehalts an organischer Substanz ist sein Volumgewicht auffallend niedrig. Sein Gehalt an Gesamtstickstoff ist jedoch erstaunlich hoch.

Die Dämpfung des Bodens wurde vorgenommen, weil der Besitzer der Gärtnerei jegliche Gefahr der Einschleppung von Pflanzenkrankheiten abwenden wollte. Sie erfolgte am 4. Dezember 1936. Im Gegensatz zu der sonst angewandten Methode wurde dieser Boden in glasbedeckten Frühbeeten gelagert. Die Erde war nach 3 Wochen vollkommen von weißem Pilzmyzel durchwuchert. Da sie sich in ihrer Reaktion und ihrem Gehalt an organischer Substanz, aber auch in ihren sonstigen Eigenschaften stark von den übrigen Böden unterscheidet, durfte auch ein anderes Ergebnis der Dämpfung erwartet werden.

Im ungedämpften Zustand weist der Boden auf neutralem Bodenextraktagar 126000 Keime auf. Nach der Dämpfung sinkt die Keimzahl auf 34000, um am 42. Tage auf 4 Millionen zu steigen. Die biologische Aktivität des Bodens ist durch die Dämpfung also erheblich gesteigert worden. Infolge der sauren Reaktion des

Tabelle 2.

Heideerde aus dem Gartenbaubetrieb „Mann", Leipzig.
Gesamtstickstoff ‰: 6,5669 g. Volumgewicht: 0,4918. Reaktion pH: 4,7.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	0,126	0,034	0,450	0,108	1,700	4,000
Sporen in Mill. je 1 g Erde	—	—	—	—	—	0,060
Pilze je 1 g Erde	10000	100	10000	130000	100000	1000000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	100000	2500	10000	7500	2500	100
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	2500	2500	5000	10	1000	100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	1,00	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß.	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,001	0,001
Austauschazidität in ccm .	11,4	9,6	9,4	8,8	7,2	8,3
Wasserkapazität %	190,06	190,01	180,25	357,29	348,99	233,21
Wassergehalt %	54,04	55,32	56,38	56,74	55,74	55,72
Gesamtorganische Masse .	51,15	45,09	45,13	36,50	34,94	37,72
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse . .	70,02	71 04	63,44	62,34	60,92	66,31
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde . . .	0,6915	1,0467	0,7779	1,0781	1,2405	1,0344
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	0,2682	0,3842	0,2732	0,4560	0,4435	0,2924
mg NH_3-N je 100 g Erde .	20,78	20,74	24,31	17,64	13,55	20,38
mg NO_3-N je 100 g Erde .	7,76	9,78	3,24	3,80	4,07	3,81

Bodens (pH 4,7) ist die Zunahme der Pilze außerordentlich stark. Ihre Zahl beträgt am 42. Tage 1 Million, während im ungedämpften Boden nur 10000 Pilze gefunden wurden. Bemerkenswert ist, daß die Protozoen am 42. Tage fast ganz verschwunden waren. Daß hier eine Einwirkung der Reaktion vorlag, ist anzunehmen, da, wie später gezeigt werden wird, nur noch die ebenfalls stark saure Azaleenerde diese Abnahme der Protozoen am 42. Tage zeigte.

Der Gehalt des Bodens an Ammoniakstickstoff steigt trotz seines besonders hohen Gehalts an organischer Substanz und an Gesamtstickstoff bis zum 3. Tage nach der Dämpfung nur um 4 mg je 100 g Boden. Diese geringe Zunahme ist wahrscheinlich auf die große Widerstandsfähigkeit der hauptsächlich in Eriken enthaltenen Eiweißkörper zurückzuführen. Auch die im Boden vorhandenen niederen Pilze scheinen nur wenig Ammoniak geliefert zu haben. Das gebildete Ammoniak verschwindet wieder restlos, außerdem wird ein Teil des ursprünglich vorhandenen Ammoniaks wohl infolge zunehmender Bakterientätigkeit wieder festgelegt. Auch bei diesem Boden setzt vom 20. Tage ab wieder eine Zunahme an NH_3 ein, die z. T. durch eine bakterielle Zersetzung der Eiweißstoffe verursacht sein muß. Der Nitratgehalt des Bodens wird nach der Dämpfung im Verlauf vom 1. zum 3. Tage von 9,7 mg

auf 3,2 mg Nitratstickstoff verringert, ein Teil davon war offenbar zu Ammoniak reduziert worden.

Deutliche Veränderungen wurden bei dem Gehalt an organischer Substanz beobachtet. Die Dämpfung führte zu einer starken Abnahme der gesamten organischen Masse; von 51% fiel sie zunächst auf 45% und am 20. Tage auf 35%. Trotzdem wurde, wie oben erwähnt, nur wenig Ammoniak gebildet, es handelt sich also um relativ stickstoffarme Substanzen.

Überraschend ist der außerordentlich hohe Anstieg der Wasserkapazität der Erde. Es muß angenommen werden, daß die Zersetzung der organischen Substanz zu einer feineren Verteilung führte, so daß die Absorptionskräfte des Bodens deutlich erhöht wurden. Andererseits läßt auch der deutliche Rückgang der Austauschazidität darauf schließen.

3. Lauberde „Donner".

Die Lauberde war 3 Jahre lang kompostiert worden. Bevor sie erstmalig für Kulturpflanzen Verwendung fand, wurde sie gedämpft, da eine Infektion durch die verseuchte Komposterde des Betriebes eingetreten sein konnte. Die Dämpfung erfolgte am 6. Februar 1937, die Tage vorher war starker Frost gewesen. Der gedämpfte Boden wurde in einem größeren etwa 1 m hohen Haufen gelagert und sowohl mit Säcken als mit Stroh bedeckt. Er hielt die

Tabelle 3.

Lauberde aus dem Gartenbaubetrieb „Donner", Borsdorf b. Leipzig. Gesamtstickstoff ‰: 10,28 g. Gesamtorganische Masse: 26,27%. Volumgewicht: 0,6264. Reaktion pH: 7,7.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft 2. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	46,00	1,28	15,20	21,00	160,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,67	0,87	0,039	0,035	13,20
Pilze je 1 g Erde	10000	—	—	--	6000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	10000	1000	100	100000	10000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	1000	100	10	2500	—
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,100	0,100	0,100	0,010	0,100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,010	0,001	0,001	0,001	0,001
Hydrolytische Azidität in ccm	6,0	0,5	—	0,8	1,6
Wasserkapazität %	131,18	141,24	133,32	126,60	107,54
Wassergehalt %	50,12	48,60	47,94	49,86	49,58
Zersetzungsgrad in % der gesamten organischen Masse	22,48	72,54	84,47	52,53	63,59
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde	7,7080	3,8123	4,0135	4,0384	5,0610
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	6,6550	2,9038	3,4343	3,1018	3,3155
mg NH_3-N je 100 g Erde	10,34	12,07	13,76	12,58	12,84
mg NO_3-N je 100 g Erde	78,54	6,03	14,34	15,87	16,59

Wärme sehr gut, so dampfte er z. B. bei der Probeentnahme am 8. Tage noch. Die erste Probe konnte erst am Tage nach erfolgter Dämpfung entnommen werden.

Der Boden hatte im ungedämpften Zustand eine Keimzahl von 46 Millionen je 1 g feuchter Erde, sie wurde durch die Dämpfung nur auf 1,3 Millionen heruntergedrückt. Vergleicht man die gesamte Veränderung der Keimzahl nach der Dämpfung mit dem tiefsten Stand, dann ergibt sich bis zum 42. Tage eine Zunahme auf das 120fache.

Obwohl die Erde sehr locker war, konnten Pilze nach der Dämpfung überhaupt nicht mehr gefunden werden. Erst am 42. Tage traten sie wieder annähernd in der ursprünglichen Stärke auf. Es unterliegt keinem Zweifel, daß eine Infektion von außen erfolgt war. Die Zahl der Protozoen wurde durch die Dämpfung auffallend wenig beeinflußt. Nach der Dämpfung wurden sogar vorübergehend höhere Zahlen von Protozoen ermittelt als vorher.

Ob die Dämpfung eine Erhöhung der Ammoniakbildung bewirkt hatte, kann nicht mit Sicherheit entschieden werden, da die Mengen außerordentlich gering waren. Das ist um so erstaunlicher, als ein sehr starker Aufschluß der organischen Substanz beobachtet wurde. Man hätte annehmen können, daß dabei auch Eiweiß in größeren Mengen abgebaut wurde, besonders da der Boden einen Gesamtstickstoffgehalt von 1,028% hatte. Das ist eine Menge, die im Durchschnitt 2½mal so hoch ist wie die der Vergleichsböden.

Wie erwähnt, erfolgte eine starke Zunahme der leichtzersetzbaren Humussubstanzen bei einer gesamten organischen Masse von 26,27%. Der Zersetzungsgrad steigt durch die Dämpfung von 22,5% auf 72,5%. Da die Keimzahl gleichzeitig sinkt, kann ein mikrobieller Aufschluß zunächst nicht stattgefunden haben. Wie der später folgende Rückgang zu erklären ist, bleibt offen. Es ist jedoch möglich, daß hier eine starke bakterielle Eiweißbildung stattgefunden hat.

Ein Vergleich der leichtzersetzbaren Humusstoffe mit dem Gehalt an Salpeter und Phosphorsäure zeigt einen auffälligen Gegensatz. Während erstere, wie oben erwähnt, stark zunehmen, sinken letztere deutlich, und zwar wurden z. B. sofort nach der Dämpfung nur noch 10% der ursprunglichen Menge des Nitratstickstoffs gefunden. Vielleicht handelt es sich um eine Verbindung von organischer Substanz und Salpeter zu Nitrokörpern, wie sie Malkomesius und Albert (34) beobachteten. Bereits vom 3. Tage ab setzte jedoch eine erneute Nitrifikation ein.

Die starke Zersetzung der organischen Substanz hat außerdem zu einer Abnahme der wasserfassenden Kraft des Bodens geführt. Der Zerfall war wahrend der 3jährigen Kompostierung so weit fortgeschritten, daß zwar das Gerüst der organischen Substanz zunächst noch erhalten geblieben war, infolge der Erhitzung wurde es jedoch zerstört und führte somit wahrscheinlich zu einer Verkleinerung des Porenvolumens.

Trotz seiner geringen Wasserstoffionenkonzentration besitzt

der Boden eine hydrolytische Azidität von 6 ccm. Mit zunehmender Zersetzung der organischen Substanz geht der Gehalt an hydrolytischer Säure zurück, erscheint jedoch, wenn auch in viel geringerem Umfang, am Schluß der Versuches wieder.

4. Komposterde „Donner".

Die Dampfung der Komposterde „Donner" erfolgte wie die der Lauberde am 6. Februar 1937; in ihm gezogene Zyklamenpflanzen hatten Wurzelfäule aufgewiesen, infolgedessen mußte eine Desinfektion erfolgen. Es handelte sich bei diesem Boden um eine sogenannte „Landerde", ein sehr schwerer, tonreicher Boden, der nach der Dämpfung leicht in großen Klumpen zusammenballte. Der lufttrockene, gedämpfte Boden mußte daher im Mörser zerkleinert werden, ehe er durch das 2-mm-Sieb getrieben werden konnte.

Tabelle 4.

Komposterde aus dem Gartenbaubetrieb „Donner", Borsdorf b. Leipzig. Gesamtstickstoff ‰: 3,2488 g. Gesamtorganische Masse: 8,68%. Volumgewicht: 1,107. Reaktion pH: 7,9.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft 2. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	4,40	3,50	1,10	1,62	5,50
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,25	1,34	0,029	0,082	0,31
Pilze je 1 g Erde	100000	400	—	—	5000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	100000	2500	100	75000	50000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	2500	2500	100	1000	—
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,001	0,100	0,100	0,100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,100	0,010	0,010	0,010	0,001
Hydrolytische Azidität in ccm	0,30	0,70	—	—	—
Wasserkapazität %	70,96	50,33	54,05	52,73	53,17
Wassergehalt %	22,24	29,32	28,42	28,72	28,84
Zersetzungsgrad in % der gesamten organischen Masse	68,58	69,82	70,82	64,02	60,67
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde	2,5716	3,2365	2,8646	3,6165	3,3456
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	2,0914	1,8407	1,8207	1,8660	2,3913
mg NH_3-N je 100 g Erde	4,07	3,63	2,58	2,28	2,57
mg NO_3-N je 100 g Erde	54,92	48,58	50,34	45,61	49,57

Der Boden, der ungedämpft eine Keimzahl von 4,4 Millionen hatte, wies am 2. Tage nach der Dämpfung noch 3,5 Millionen auf. Der Keimrückgang war also außerordentlich gering, eine Erklärung für die auffällige Erscheinung ist nach 2 Richtungen hin zu suchen. Einmal besteht die Möglichkeit, daß in der Zwischenzeit bereits wieder eine Bakterientätigkeit eingesetzt hat, wahrscheinlicher ist jedoch, daß die Erhitzung des Bodens nicht gleich-

mäßig wirksam gewesen ist, denn die Dämpfung war in auffallend kurzer Zeit beendet. Wie erwähnt, ballte der Boden leicht in großen Klumpen zusammen. Es ist daher möglich, daß der Dampf schnell durch die größeren Bodenrisse drang und das Thermometer 98° C anzeigte, ohne daß der gesamte Boden diese Temperatur erreicht hatte. Er wies dann auch nach 6 Wochen erst eine Keimzahl von 5,5 Millionen auf, so daß eine stärkere Einwirkung auf die bakterielle Tätigkeit nicht erfolgt war. Stärker als die Bakterien werden die Protozoen von der Dämpfung betroffen, ihre Zahl sinkt vorübergehend auf 1%, steigt dann aber wieder auf 50% der ursprünglichen Höhe an. Am nachhaltigsten wird das Wachstum der Pilze durch die Erhitzung beeinflußt, sie verschwinden für einige Wochen ganzlich.

Der ganzen Struktur nach handelt es sich um einen Boden, der einer zahl- und artenreichen Flora keine ausreichenden Entwicklungsmöglichkeiten bietet. Die für Ammoniak- und Nitratstickstoff gefundenen niedrigen Werte und die beobachteten geringen Schwankungen weisen in die gleiche Richtung.

Daß die oben erwähnte Klumpenbildung das Zeichen einer ganz allgemeinen Verschlechterung der Struktur ist, geht am klarsten aus dem Verhalten des Bodens zum Wasser hervor. Während zunächst eine außerordentlich hohe Wasserkapazität nachgewiesen werden konnte, geht diese nach der Dämpfung sehr stark zurück, offenbar ist das Porenvolumen stark verkleinert worden. Gleichzeitig steigt jedoch der Wassergehalt erheblich. Somit ist von dem gesamten noch vorhandenen Wasserhaltungsvermögen ein größerer Anteil gesättigt und zwar betrug er vor der Dämpfung 31% und nach der Erhitzung 58%. Aus den bisherigen Ergebnissen war zu entnehmen, daß die Dampfung keine ins Gewicht fallende Wasserzufuhr bedeutet. Offenbar wird das als Dampf zugeführte Wasser nach der Dämpfung von dem noch heißen Boden durch Verdunstung wieder abgegeben. Wenn der Boden nach der Behandlung dann doch feuchter erschien, enthielt er nicht mehr Wasser, sondern war nur relativ feuchter geworden.

5. Azaleenerde „Pillnitz".

Die am 16. März 1937 gedampfte Azaleenerde bestand zu einem Teil aus alter und zu zwei Teilen aus neuer Heideerde. Um sie gebrauchsfertig zu machen, war sie vom Gärtner vor dem Dämpfen noch mit Sand versetzt worden. Gelagert wurde diese Erde nach der Dämpfung, sowie alle weiteren Böden aus Pillnitz, in zirka 70 cm hohen Haufen.

Die Azaleenerde ähnelte der Heideerde „Mann", denn auch sie hatte einen hohen Gehalt an organischer Substanz und eine stark saure Reaktion. Es konnte also ein ähnliches Ergebnis wie bei der Heideerde „Mann" erwartet werden.

Die Erde zeigte in ungedämpften Zustand auf neutralem Bodenextraktagar 1 230 000 Keime je 1 g Boden, die durch die Dämpfung auf 15% ihrer anfänglichen Höhe gesenkt wurden. Den tiefsten Stand erreichte die Keimzahl aber am 8. Tage mit nur 54 000

Tabelle 5.

Azaleenerde aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff $^0/_{00}$: 4,3426 g. Gesamtorganische Masse: 24,04 $^0/_0$.
Volumgewicht: 77,08. Reaktion pH: 4,7.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	1,23	0,18	0,21	0,054	9,80	58,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,25	0,11	0,08	0,036	0,19	0,39
Pilze je 1 g Erde	100000	10	10	1000	2500000	5000000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	25000	10	10	25000	100000	100
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	10	10	10	—	—	—
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,010
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,0001	0,00001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001
Austausch-Azidität in ccm .	13,12	15,00	13,33	12,90	11,50	11,40
Wasserkapazität $^0/_0$ . . .	91,05	100,20	105,48	103,15	95,88	97,89
Wassergehalt $^0/_0$	41,59	50,28	47,86	41,32	43,09	46,46
Zersetzungsgrad in $^0/_0$ der gesamten organ. Masse .	77,90	69,14	71,68	68,89	63,16	71,02
g P_2O_5 löslich in 10 $^0/_0$ iger HCl je 1000 g Erde . .	0,4476	0,6206	0,7168	0,6015	0,6879	0,7351
g P_2O_5 löslich in 2 $^0/_0$ iger Zitronens. je 1000 g Erde	0,1274	0,1542	0,2526	0,1456	0,1580	0,1483
mg NH_3-N je 100 g Erde .	—	—	2,36	—	5,19	9,46
mg NO_3-N je 100 g Erde .	3,15	3,63	4,99	3,10	6,48	9,46

Keimen. Vom 9. Tage an begann jedoch eine intensive bakterielle Tätigkeit. Die Keimzahl betrug am 42. Tage 58 Millionen, während die Zahl der Sporen nur um 100 % gesteigert wurde.

Die Pilze waren zwar durch die Dampfung zunächst fast vollkommen vernichtet worden, ihre Zahl betrug nach 6 Wochen aber wieder 5 Millionen. Das ist eine Steigerung von 5000 %, eine Höhe, die nur noch bei der Heideerde „Mann" beobachtet werden konnte. Im ungedämpften Boden waren nur 25000 Protozoen je 1 g Erde enthalten. Nach der Erhitzung wurde am 20. Tage zwar eine höhere Zahl gefunden, aber am 42. Tage enthielt dieser saure Boden nur 100 Protozoen je 1 g Erde. Wie bei der Heideerde „Mann" war also ein hemmender Einfluß auf die Zahl der Protozoen unverkennbar.

Ammoniak konnte weder im ungedämpften Boden noch sofort nach der Dämpfung ermittelt werden. Erst später setzte eine starke Ammoniakentwicklung ein, so daß der Boden am 42. Tage 9,46 mg Ammoniakstickstoff je 100 g Erde enthielt. Da, wie aus Tabelle 5 ersichtlich, gleichzeitig ein starker Anstieg der Keimzahl erfolgte, muß die Ammoniakbildung durch biologische Zersetzung pflanzlichen Eiweißes verursacht worden sein. Im Gegensatz zu den bisher mitgeteilten Beobachtungen setzte hier bereits am 8. Tage eine

Nitrifikation ein, der Anstieg des Gehaltes an Nitratstickstoff betrug 6 mg je 100 g Erde. Außerdem erfolgte bei diesem Boden durch die Dämpfung ein Aufschluß an schwer und an leicht löslicher Phosphorsäure.

Wie bei der Heideerde „Mann" hatte auch hier die Dämpfung eine Erhöhung der Wasserkapazität bewirkt. Wenn sie bei diesem Boden allerdings nur von 91% auf 105% anstieg, so ist das hauptsächlich dem geringeren Gehalt der Pillnitzer Erde an organischer Substanz zuzuschreiben. Wie aus der folgenden Gegenüberstellung ferner hervorgeht, tritt das umgekehrte Verhältnis zwischen den bei ungedämpfter Erde gewonnenen Ergebnissen des Volumgewichtes und des Gehaltes an organischer Substanz sehr stark in Erscheinung:

	Volumgewicht	Gehalt an org. Sub.
Heideerde „Mann":	0,4918	51,15%
Azaleenerde „Pillnitz"	0,7708	24,04%

Diese Azaleenerde ist also durch die Dämpfung in durchaus günstigem Sinne beeinflußt worden, da ein sehr reges Bakterienleben einsetzte, außerdem aber sowohl eine Zunahme des Ammoniak- als auch des Nitratgehaltes und ein Aufschluß der Phosphorsäure beobachtet werden konnte.

6. Zyklamenerde „Pillnitz".

Diese Zyklamenerde war aus Erden gemischt worden, die schon mehrfach bei Kulturen benutzt worden waren. Eine Mischung aus 2 Teilen Lauberde und 1 Teil Mistbeeterde wurde im Verhältnis 2 : 1 mit Sand und Torfmull vermengt. Der Boden sah bedeutend „sandiger" aus als die Azaleenerde, aber auch in ihm waren noch verrottete Pflanzenreste zu finden.

Der ungedämpfte Boden hatte eine Keimzahl von 6,6 Millionen, die durch die Dämpfung auf 330000 herabgedrückt wurde. Vom 9. Tage an setzte eine starke biologische Aktivität ein, so daß eine Erhöhung der ursprünglichen Zahl bis zum 20. Tage um rund 900% erfolgte. Wider Erwarten enthielt der Boden am 42. Tage nur 23 Millionen Keime. Dieser Abfall war weder durch Reaktion oder Temperatur, noch durch den Feuchtigkeitsgehalt zu erklären. Die Zahl der Pilze war wie bei allen Vergleichsböden bald nach der Dämpfung wieder angestiegen, lag aber nach 6 Wochen noch unter der ursprünglichen Höhe. Jedoch hatte der Boden bereits im ungedämpften Zustand 1 Million lebende Protozoen aufgewiesen, das ist eine Gesamtzahl, die weit über der der übrigen Böden lag. Die Kulturen wiesen außerdem auffallend kleine Formen auf, in denen auch nach 4 Wochen noch kleine Cysten gefunden werden konnten. Obwohl die Protozoen durch die Dämpfung zunächst fast vollkommen vernichtet wurden, erfolgte doch sofort wieder ein starkes Wachstum, vor allem aber sank die Zahl der Protozoen nicht wie bei den Vergleichsböden vom 20. bis zum 42. Tage. Somit muß angenommen werden, daß der Boden besonders aktive Pro-

Tabelle 6.

Zyklamenerde aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff ‰: 4,6582 g. Gesamtorganische Masse: 11,47%.
Volumgewicht: 1,051. Reaktion pH: 7,8.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	6,60	0,33	2,30	0,21	56,00	23,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,27	0,24	0,28	0,069	0,75	0,59
Pilze je 1 g Erde	100000	—	--	100	8000	10000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	1000000	10	10000	10000	50000	50000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	—	10	—	10	—	—
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,010	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,001
Hydrolytische Azidität in ccm	4,0	5,3	4,6	4,3	4,5	4,0
Wasserkapazität % . . .	73,80	65,52	68,21	72,83	70,12	64,87
Wassergehalt %	32,28	37,32	34,92	34,09	36,48	36,54
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse .	69,66	75,21	79,48	72,76	69,76	60,34
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde . .	2,6187	3,0243	2,8542	3,0320	2,8871	2,7260
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronens. je 1000 g Erde	1,8919	2,1451	2,4444	2,1950	2,5580	2,5448
mg NH_3-N je 100 g Erde .	—	2,03	7,14	8,22	15,11	10,16
mg NO_3-N je 100 g Erde .	9,43	8,13	7,65	6,75	7,94	4,83

tozoenformen enthalten hatte, deren Zahl sich wahrscheinlich auf Kosten der Bakterien immer stärker vermehrte.

Die Zyklamenerde enthielt ursprunglich keinen Ammoniakstickstoff. Sofort nach der Dämpfung wurden 2 mg je 100 g Erde ermittelt. Während dieser Anstieg durch physikalisch-chemische Zersetzungen infolge der Erhitzung entstand, muß die nach dem 2. Tage einsetzende starke Ammoniakentwicklung bis zu 15,1 mg am 20. Tage durch eine biologische Zersetzung der Eiweißstoffe verursacht worden sein; denn wie Tabelle 6 zeigt, erfolgt gleichzeitig eine starke Zunahme der Keimzahl. Am 42. Tage war dann jedoch sowohl eine Abnahme an Ammoniak- wie an Nitratstickstoff eingetreten, während die Menge der in 2%iger Zitronensäure löslichen Phosphorsäure gestiegen war.

Dem Wasser gegenüber verhält sich dieser Boden ähnlich wie die Komposterde „Donner". Auch hier tritt eine Abnahme der Wasserkapazität ein, während der Wassergehalt steigt, jedoch nimmt, da der Boden reicher an organischer Substanz ist, die Wasserkapazität in geringerem Maße ab.

7. Chrysanthemenerde „Pillnitz" I.

Der Boden war mehrere Jahre hindurch im Gewächshaus gehalten worden und hatte der Zucht von Chrysanthemen gedient.

Es war ein kalter, tonreicher Boden, der in seiner Beschaffenheit der Komposterde „Donner" sehr ähnelte. Er entsprach äußerlich also nicht der Bodenart, die gewöhnlich zum Anbau von Chrysanthemen verwendet wird. Die steten Monokulturen hatten zu einer Müdigkeit des Bodens geführt, vor allem verhinderte die Anhäufung von Nematoden weitere Kulturen ganzlich. Eine Dämpfung des Bodens war daher unvermeidlich, sie wurde am 2. April 1937 durchgeführt.

Tabelle 7.

Chrisanthemenerde I aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff ‰: 3,4034 g. Gesamtorganische Masse: 7,88 %.
Volumgewicht: 1,194. Reaktion pH: 7,6.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	2. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	1,10	0,79	0,27	0,24	52,00	53,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,112	0,097	0,073	0,030	0,370	3,10
Pilze je 1 g Erde	20000	-	10	1000	40000	200000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	100000	100	7500	10000	75000	25000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	—	10	10	--	10	—
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,001	0,001	0,010	0,001	0,010
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,010	0,0001	0,001	0,0001	0,001	0,0001
Hydrolytische Azidität in ccm	4,9	4,5	5,08	5,6	4,9	1,6
Wasserkapazität % . . .	50,30	49,84	52,15	52,94	49,37	46,03
Wassergehalt %	17,56	23,60	19,38	18,74	20,16	20,45
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse .	53,96	66,27	79,31	75,99	73,44	70,48
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde . .	1,5442	1,7650	1,5484	1,5710	1,4900	1,5065
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	0,6529	0,6878	0,6392	0,7331	0,6269	0,6257
mg NH_3-N je 100 g Erde .	—	1,53	4,84	5,09	6,10	5,11
mg NO_3-N je 100 g Erde .	2,04	3,31	6,37	4,85	7,12	2,57

Im ungedampften Zustand wies der Boden 1,1 Millionen Keime je 1 g Erde auf; durch die Dämpfung wurde die Keimzahl zunächst auf 0,79 und spater auf 0,24 Millionen gesenkt und stieg dann schnell auf 52 Millionen an. Die Wirkung der Erhitzung war also nur gering. Während in den ubrigen Boden auch Sporen abgetötet wurden, so daß die Keimzahl kurz nach der Dämpfung unter der Zahl der Sporen des unbehandelten Bodens lag, war das hier nicht der Fall. Diese geringe Wirksamkeit der partiellen Sterilisation ist vermutlich auf ahnliche Grunde zurückzuführen, wie die bei der Komposterde „Donner". Er unterscheidet sich jedoch von ihm in der später einsetzenden lebhafteren Bakterientätigkeit.

Die Pilze wurden zwar durch die Dämpfung zunächst vernichtet, sie erfuhren aber im Laufe der Untersuchungszeit eine er-

hebliche Zunahme. Während also Bakterien und Pilze am Schluß der Versuchsperiode wesentlich zahlreicher entwickelt waren, als zu Beginn des Versuches, konnten die Protozoen ihren ursprünglichen Stand nicht wieder erreichen.

Der ungedämpfte Boden ist zunächst völlig frei von Ammoniak, jedoch wurden bereits nach der Dämpfung 1,5 mg nachgewiesen und diese Menge stieg sehr bald noch auf 6,1 mg. Überraschenderweise ist auch eine deutliche Nitratbildung festzustellen, eine Erscheinung, die bisher nur bei der Pillnitzer Azaleenerde beobachtet werden konnte. Da die Nitratbakterien keine Sporen zu bilden vermögen, mußte eigentlich angenommen werden, daß eine Nitratbildung gänzlich verhindert würde. Die Dämpfung tötet also auch die sporenfreien Bakterien keineswegs restlos ab, da ja auch beim Boden 5 Nitratbildung beobachtet wurde, obwohl bei diesem Boden die Desinfektion sicher wirksamer gewesen ist, als bei der schweren Chrysanthemenerde. Am Schluß der Untersuchungsperiode ist der Gehalt an Ammoniak und Nitrat wieder zurückgegangen.

Der Zersetzungsgrad der organischen Substanz hat zugenommen, während die Wasserkapazität gesunken ist. Da dieser Boden nur einen Gehalt an gesamter organischer Masse von 7,0% aufwies, ist die geringe Verschiebung der Wasserkapazität durchaus verständlich Der Wassergehalt des Bodens ist gestiegen.

8. Gemisch aus sandigem Lehm und Torfmull „Pillnitz“.

Diese Erde war im November 1936 in einer Gesamtmenge von 8—9 cbm neu aufgesetzt worden. Es waren dazu verwendet worden 8 Ballen Torfmull, 1 Sack Nettolin und 50 kg Stuckkalk. Beim Aufsetzen der Torfmiete wurde eine Erdzwischenschicht eingelegt und ein Erdmantel darum gegeben. Nach entsprechender Lagerung und mehrmaligem Umsetzen und Zwischenmischen der Erde enthielt die Mischung zuletzt etwa einen Teil Torfmull und 2,5 Teile Erde. Der Boden wurde am 2. Juni 1937 gedämpft.

Im Vergleich mit den übrigen Böden zeigte dieses Gemisch den geringsten Humusgehalt, infolgedessen stand sein Volumgewicht auch an erster Stelle. Der ungedämpfte Boden hatte nur eine Keimzahl von 680000, die durch die Dämpfung sogar auf 8000 herabgedrückt wurde. Nach dem 4. Tage setzte jedoch eine starke biologische Aktivität ein, so daß der Boden nach 6 Wochen 76 Millionen Keime aufwies. Das heißt, in diesem Boden ist die Zunahme der Keimzahl prozentual zur ursprunglichen Höhe am großten von allen untersuchten Böden. Die Zahl der Pilze erfuhr nach der Dämpfung bis zum 42. Tage eine schwache Zunahme, während die Protozoen am 42. Tage nur noch 50% ihrer Zahl im ungedämpften Boden erreicht hatten.

Da die organische Substanz des Bodens in erster Linie aus Torf bestand, war eine unwesentliche Zunahme des Zersetzungsgrades durchaus zu erwarten. Der Rückgang der Wasserkapazität ist ebenfalls sehr unbedeutend, während die hydrolytische Azidität des

Tabelle 8.

Sandiger Lehm und Torfmull aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff ‰: 3,1439. Gesamtorganische Masse: 3,75 %.
Volumgewicht: 1,228. Reaktion pH: 7,3.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	0,680	0,008	0,0016	5,600	9,400	76,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,240	0,0061	0,0011	0,480	0,580	1,600
Pilze je 1 g Erde	1000	—	—	100	2000	3000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	100000	10	100	75000	100000	50000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	—	—	—	100	100	100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,0001
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,001	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001
Hydrolytische Azidität in ccm	3,5	3,8	4,0	3,5	3,6	3,1
Wasserkapazität %	43,01	43,45	42,34	43,10	44,31	42,40
Wassergehalt %	20,32	22,14	19,36	18,19	18,75	21,46
Zersetzungsgrad in 4 der gesamten organ. Masse .	75,49	67,82	76,16	75,59	79,65	76,11
g P_2O_5 löslicher in 10%iger HCl je 1000 g Erde . .	1,2535	1,3731	1,3434	1,4030	1,2885	1,2708
g P_2O_5 löslicher in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	0,5014	0,5464	0,5889	0,6381	0,5796	0,5633
mg NH_3N je 100 g Erde .	3,01	4,53	4,79	2,53	1,52	2,71
mg NO_3-N je 100 g Erde .	3,52	2,52	4,54	4,84	3,65	4,79

Bodens völlig unverändert blieb. Ebenso zeigten auch die lösliche Phosphorsäure und der Gehalt an Nitrat kaum Schwankungen. Durch die Dämpfung war wohl zunächst eine Anreicherung des Ammoniakstickstoffs um 1,5 mg je 100 g Boden erfolgt, im Verlauf der Lagerung wird jedoch ein Teil des Ammoniakstickstoffs wieder festgelegt, und erst nach dem 20. Tage kommt es infolge der starken Veränderung der Bakterienflora wieder zu einer Steigerung des Ammoniakgehaltes.

9. Chrysanthemenerde II „Pillnitz".

Dieser Boden aus der Versuchs- und Forschungsanstalt Pillnitz war ebenfalls für die Kultur von Chrysanthemen bestimmt. Obwohl die Bestimmung des Volumgewichtes, des Gesamtstickstoffs und auch der organischen Substanz eine starke Ähnlichkeit mit dem Boden 7 ergab, unterschieden beide sich ganz erheblich. Während Boden 7 sehr reich an Lehm und Ton war, enthielt Boden 9 mehr Sand. Bei der Herstellung der Erde wurden zunächst 2/3 Kompost- und 1/3 Rasenerde gemischt. Davon waren 90% mit jeweils 5% Sand und 5% Torfmull zusammen gegeben worden. Da sie zu 90% also aus gebrauchten Erden bestand, wurde sie vor der Dämpfung am 6. Juli 1937 mit Jauche und Hornmehl versetzt.

Tabelle 9.

Chrysanthemenerde II aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff ‰: 3,5746. Gesamtorganische Masse: 9,73%.
Volumgewicht: 1,135. Reaktion pH: 6,9.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	4,10	0,039	1,500	12,00	110,0	253,0
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,120	0,003	0,030	0,548	0,530	0,980
Pilze je 1 g Erde	300000	30	10	1000	50000	100000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	75000	100	1000	10000	100000	75000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	10	10	—	—	10	100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,001	0,00001	0,0001	0,00001	0,0001	0,001
Hydrolytische Azidität in ccm	7,3	6,3	6,2	5,8	5,0	4,9
Wasserkapazität % . . .	43,89	45,43	46,36	46,59	51,71	48,68
Wassergehalt %	17,55	16,88	17,06	17,02	17,45	17,40
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse .	87,01	81,95	75,00	79,85	81,61	78,01
g P_2O_5 löslich in 10% iger HCl je 1000 g Erde . .	1,6934	1,6505	1,7981	1,7505	1,9929	2,0402
g P_2O_5 löslich in 2% iger Zitronens. je 1000 g Erde	0,8761	0,8590	0,9078	0,8880	0,8749	0,8698
mg NH_3-N je 100 g Erde .	2,56	2,29	3,58	6,37	16,34	22,42
mg NO_3-N je 100 g Erde .	12,81	10,69	9,46	7,90	10,98	9,43

Alle Mikroorganismen, sowohl Pilze als auch Bakterien und Protozoen wurden durch die Dampfung im starken Maße verringert, allerdings entfalteten, wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist, alle Arten sehr bald wieder eine gesteigerte Aktivität, so daß Pilze und Protozoen ihren früheren Bestand wieder erreichten, während die Keimzahl derartig gesteigert wurde, daß sie am Schluß der Untersuchungsperiode 253 Millionen je 1 g Erde betrug.

Infolgedessen war auch die Ammoniakbildung außerordentlich stark, sie wurde in gleichem Ausmaße bei keinem der Vergleichsböden gefunden, erfolgte doch eine Zunahme von 2,56 mg im ungedämpften Boden auf 22,42 mg Stickstoff am 42. Tage nach der Dämpfung. Diese Zunahme ist in erster Linie auf die Beimengung von Hornmehl zurückzuführen. Während der Gehalt an leicht löslicher Phosphorsäure unverändert blieb, steigerte sich der der mit HCl extrahierbaren im Laufe der Versuchsperiode. Die hydrolytische Azidität des Bodens betrug ursprünglich 7,3 ccm, jedoch war sie bis zum 42. Tage auf nur noch 4,9 ccm zurückgegangen.

Der Unterschied der Böden 7 und 9 kommt vor allem bei der Wasserkapazität und dem Zersetzungsgrad der organischen Substanz zum Ausdruck. Während erstere bei Boden 9 ansteigt und letzterer zurückgeht, war bei Boden 7 das umgekehrte Verhältnis

zu beobachten gewesen. Außerdem ist aber vor allem in der starken Zunahme der Keimzahl des Bodens 9 ein Unterschied klar erkenntlich.

10. Heideerdegemisch „Engler".

Diese Erde war aus gleichen Teilen gebrauchter Heide- und Torferde gemischt und kompostiert worden. Vor der Dämpfung am 23. Juli 1937 war 1 Teil dieses Gemisches mit einem Teil Torfmull vermengt worden. Die braune Erde war auch nach der Dämpfung noch weich und locker. Sie wurde ebenfalls in etwa 70 cm hohen Haufen gelagert.

Tabelle 10.

Heideerdegemisch aus dem Gartenbaubetrieb „Engler", Miltitz b. Leipzig. Gesamtstickstoff ‰: 4,2879. Gesamtorganische Masse: 16,78 %. Volumgewicht: 0,8298. Reaktion pH: 7,1.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	55,00	0,029	19,00	4,300	200,0	210,0
Sporen in Mill. je 1 g Erde	0,032	0,012	2,200	0,730	16,70	16,10
Pilze je 1 g Erde	50000	10	—	2000	10000	90000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	25000	10	7500	75000	100000	100000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	100	10	—	10	10	100
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde a) Kohlehyd.	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0001	0,001
Anaerobe in Mill. je 1 g Erde b) Eiweiß	0,010	0,0001	0,001	0,001	0,0001	0,0001
Hydrolytische Azidität in ccm	8,1	10,2	9,7	8,4	8,2	8,0
Wasserkapazität %	107,07	79,81	77,39	84,74	99,36	105,00
Wassergehalt %	33,62	33,04	34,22	35,97	34,98	34,30
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse .	69,48	69,50	76,60	66,88	65,65	65,16
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde . .	2,6171	2,6101	2,7221	2,9491	2,9250	2,8845
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronensäure je 1000 g Erde	1,3850	1,4393	1,3554	1,3699	1,3876	1,4047
mg NH_3-N je 100 g Erde .	4,93	6,48	6,54	11,61	9,84	11,15
mg NO_3-N je 100 g Erde .	37,07	35,52	31,67	35,55	32,63	32,68

Der Boden hatte bereits im ungedämpften Zustande eine Keimzahl von 55 Millionen, während die Zahl der Sporen nur 32 000 betrug. Die Keimzahl wurde durch die Dämpfung zunächst auf 29 000 herabgedrückt und nahm bis zum 42. Tage auf 210 Millionen je 1 g Erde zu. Die Dämpfung hatte demnach eine Steigerung der biologischen Aktivität hervorgerufen, durch die vor allem die Sporen um das 50fache zunahmen. Im Gegensatz zu den landwirtschaftlich genutzten Boden scheinen die Sporen hier eine wesentlich größere Rolle zu spielen.

Obwohl die Pilze durch die Dämpfung zunächst vollkommen vernichtet zu sein scheinen, erfolgte nach dem 3. Tage ein starkes

Wachstum, so daß ihre Zahl trotz neutraler Bodenreaktion am 42. Tage eine Zunahme um 90% erfahren hatte. Die Protozoen wurden durch die Dämpfung sehr wenig beeinflußt, es setzte sogar nach dem 1. Tage eine so starke Zunahme ein, daß der Boden am 20. und am 42. Tage das 4fache ihrer ursprünglichen Zahl enthielt. Wie aus Tabelle 10 zu ersehen ist, stieg die Keimzahl zwischen der 4. und 6. Woche kaum, diese Verzögerung kann durch die starke Protozoentätigkeit hervorgerufen worden sein.

Der ungedämpfte Boden enthielt 4,9 mg Ammoniakstickstoff, der durch die Dämpfung um 1,5 mg anstieg. Es mußte demnach ein Aufschluß stickstoffhaltiger Substanzen erfolgt sein. Die weitere Ammoniakbildung ist auf die Tätigkeit der Mikroorganismen zurückzuführen. Wie bei Boden 9 bleibt auch hier der Gehalt an leicht löslicher Phosphorsäure fast unverändert, während die Menge der in Salzsäure löslichen Phosphorverbindungen ansteigt.

Interessant ist besonders der entgegengesetzte Verlauf von Wasserkapazität und Zersetzungsgrad der organischen Substanz, während der Wassergehalt des Bodens sich gar nicht anderte. Die hydrolytische Azidität hat dabei zunächst von 8,1 auf 10,2 ccm zugenommen, fiel aber im Laufe der 6 Wochen ununterbrochen bis auf 8 ccm.

11. Frühbeeterde „Pillnitz“.

Es handelte sich bei dieser Frühbeeterde um eine lehmige Komposterde, die seit etwa 3 Jahren laufend in Benutzung gewesen und im Winter nicht ausgefahren worden war. Eine Dämpfung erfolgte, um Müdigkeitserscheinungen vorzubeugen, sie wurde am 4. November 1937 durchgeführt. Ahnlich wie Boden 4 und 7 ballte diese Erde nach der Dämpfung zusammen, sie war aber nicht so fest wie die beiden erwahnten Böden.

Der Boden hatte zunächst eine Keimzahl von 12 Millionen, die durch die Dampfung nur auf 2,5 Millionen herabgedrückt wurde, während der Boden ursprünglich nur 2,4 Millionen Sporen enthalten hatte. Wie bei der Komposterde „Donner“ und der Chrysanthemenerde I „Pillnitz“ mußte die lehmige Beschaffenheit des Bodens eine stärkere Vernichtung der Bakterien verhindert haben. Trotzdem trat jedoch eine starke Vermehrung ein, so daß die Frühbeeterde am 20. Tage 310 Millionen Keime aufwies. Die Zahl der Sporen stieg während der Zeit nur auf 13 Millionen Keime. Wie aus Tabelle 11 zu ersehen ist, betrug die Keimzahl am 42. Tage nur noch 190 Millionen, und die Zahl der Sporen 8,7 Millionen je 1 g Erde. Der Wassergehalt der Erde war zwar unwesentlich gestiegen, eine Abnahme der Keimzahl konnte dadurch aber nicht hervorgerufen worden sein. Ebensowenig war die Keimabnahme auf die Bildung von Säuren zurückzuführen, da der Boden unverändert einen p_H-Wert von 6,9 aufwies und auch die hydrolytische Azidität sich nicht änderte. Die Jahreszeit hätte einen weiteren Anstieg der Keimzahl verhindern, jedoch aber nicht eine Abnahme um 40% hervorrufen können. Die Zahl der Pilze betrug

Tabelle 11.

Frühbeeterde aus der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau, Pillnitz a. d. Elbe.
Gesamtstickstoff $^0/_{00}$: 3,940. Gesamtorganische Masse: 9,88 %.
Volumgewicht: 1,171. Reaktion pH: 6,9.

Untersuchungstermine	Ungedämpft	Gedämpft				
		1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	12,00	2,500	27,00	15,00	310,0	190,0
Sporen in Mill. je 1 g Erde	2,400	1,500	1,700	1,400	13,00	8,700
Pilze je 1 g Erde	100000	10	300	200	—	10000
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	1000000	1000	5000	50000	50000	100000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	100	1000	10	—	100	—
Aktinomyzeten in Mill. je 1 g Erde	0,60	0,01	0,01	0,008	0,30	0,02
Hydrolytische Azidität in ccm	4,4	3,9	4,5	3,4	3,6	4,2
Wasserkapazität %	46,95	48,11	47,69	49,06	47,25	46,33
Wassergehalt %	23,22	24,52	25,03	25,31	25,24	26,96
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ Masse .	82,01	83,04	73,91	80,22	80,25	69,14
g P_2O_5 löslich in 10 %iger HCl je 1000 g Erde . . .	2,6949	2,3627	2,3085	2,0471	2,1684	2,2722
g P_2O_5 löslich in 2 %iger Zitronensäure je 1000 g Erde	1,4818	1,1815	1,2053	1,1886	1,2236	1,0979
mg NH_3-N je 100 g Erde .	2,10	3,74	9,53	5,66	11,55	9,28
mg NO_3-N je 100 g Erde .	6,56	4,28	5,15	5,66	8,00	4,89

am 42. Tage nur 10 % der ursprünglichen Anzahl. Dagegen enthielt der ungedämpfte Boden bereits 1 Million Protozoen je 1 g Erde. Die Kulturen wiesen ferner kleine bewegliche Formen auf, wie sie im Boden 6 beobachtet werden konnten. Außerdem waren sie durch die Dämpfung nur auf 1000 je 1 g Erde zurückgedrängt worden und stiegen bis zum 20. Tage auf 50 000, bis sie schließlich am 42. Tage eine Zahl von 100 000 erreicht hatten. Die Vermutung, daß die Protozoen sich in größerem Umfang auf Kosten der Bakterien vermehrt hatten, wäre somit auch bei diesem Boden wahrscheinlich.

Der Ammoniakstickstoff betrug im ungedämpften Boden 2,1 mg und wurde durch die Dämpfung um 1,6 mg je 100 g Boden vermehrt. Trotz vorübergehender Schwankungen war eine kräftige Ammoniakbildung während der gesamten Dauer der Untersuchungen zu beobachten. Eine Nitrifikation hat ebenfalls im beschränkten Umfang stattgefunden, während der Gehalt an löslicher Phosphorsäure durch die Dämpfung verringert worden war.

Die Wasserkapazität des Bodens betrug nur etwa 47 %, sie wurde durch die Dämpfung nur unwesentlich verändert, auch der Zersetzungsgrad der organischen Substanz blieb, wenn man von dem am 42. Tage gefundenen Wert absieht. Der Wassergehalt des Bodens wurde jedoch erhöht.

Tabelle 12.

Blumenkohlerde aus dem Gartenbaubetrieb „Engler", Miltitz b. Leipzig.
Gesamtstickstoff ‰: 3,6385. Gesamtorganische Masse: 8,45%.
Volumgewicht: 1,2112. Reaktion pH: 7,1.

Untersuchungstermine	Ungedämpft a) 1. Tag b) 42. Tag	Gedämpft 1. Tag	3. Tag	8. Tag	20. Tag	42. Tag
Keimzahl in Mill. je 1 g Erde	a) 12,0 b) 9,8	0,180	5,900	0,910	23,00	31,00
Sporen in Mill. je 1 g Erde	a) 0,23 b) 3,5	0,11	0,21	0,019	7,10	8,70
Pilze je 1 g Erde	a) 30000 b) 100000	—	1000	1000	1000	100
Protozoen je 1 g Erde a) vegetat.	a) 100000 b) 1000000	10	10000	10000	75000	75000
Protozoen je 1 g Erde b) Cysten	a) 10 b) —	10	—	—	-	100
Aktinomyzeten in Mill. je 1 g Erde	a) 0,80 b) 0,20	0,001	0,0008	0,008	0,003	0,40
Hydrolytische Azidität in ccm	a) 1,5 b) 1,1	1,4	1,2	1,4	—	1,5
Wasserkapazität %	a) 49,0 b) 47,1	49,15	46,73	40,31	—	45,78
Wassergehalt %	a) 19,77 b) 19,76	24,69	23,63	26,36	21,05	21,98
Zersetzungsgrad in % der gesamten organ. Masse	a) 73,61 b) 63,43	68,34	68,30	59,23	58,57	77,53
g P_2O_5 löslich in 10%iger HCl je 1000 g Erde	a) 1,907 b) 1,742	1,8211	1,6391	1,5414	1,4096	1,4592
g P_2O_5 löslich in 2%iger Zitronens. je 1000 g Erde	a) 0,745 b) 0,924	0,6755	0,6516	0,5734	0,6131	0,6374
mg NH_3-N je 100 g Erde	a) 4,99 b) 2,08	4,86	3,85	2,06	7,74	5,16
mg NO_3-N je 1000 g Erde	a) 11,02 b) 7,28	7,67	8,72	6,18	8,27	10,08

12. Blumenkohlerde „Engler".

Eine lehmige Komposterde, wie sie zum Anbau von Blumenkohl verwendet wurde, war am 20. November 1937 gedämpft worden. Die Untersuchung bis einschließlich am 8. Tage erfolgte von Erdproben, die wie üblich gelagert und gegen Witterungseinflüsse nur durch Säcke geschützt waren. Die Proben am 20. und am 42. Tage wurden dagegen aus Erdmengen entnommen, die sofort nach der Dämpfung im Gewächshaus bei 20° C gelagert hatten. Es erfolgte außerdem noch eine Untersuchung von ungedämpftem Boden, der gleichzeitig 6 Wochen im Gewächshaus aufbewahrt worden war. Die Untersuchungsergebnisse dieser Erdprobe werden gesondert besprochen. Es war auf diese Weise möglich, auch die in ungedämpften Boden auftretenden Veränderungen am Schluß zum Vergleich heranzuziehen.

Der Boden wies vor der Dämpfung 12 Millionen Keime auf, die durch die Erhitzung auf 180000 herabgedrückt wurden. Wie aus Tabelle 12 hervorgeht, stieg die Keimzahl während der Versuchsperiode auf 31 Millionen, während die Zahl der Sporen nur 8,7 Millionen betrug. Obwohl die Pilze nach der Dämpfung wieder auf 1000 je 1 g Erde zugenommen hatten, konnten am 42. Tage nur 100 Pilze je 1 g Erde gefunden werden. Die Zahl der Protozoen dagegen betrug am 42. Tage noch 75% der ursprünglichen Anzahl.

Bei der im Freien gelagerten Erdmenge wird ein Teil des vorhandenen Ammoniaks festgelegt, dagegen war bei der im Gewächshaus aufbewahrten Erde der Ammoniakgehalt des Bodens erheblich gestiegen und erst am Schluß der Versuchsperiode erfolgte eine geringe Abnahme.

Die Wasserkapazität des Bodens sinkt im Laufe der Zeit, während der Zersetzungsgrad der organischen Substanz durch die Dämpfung unmittelbar wohl verringert wurde, jedoch am 42. Tage größer war als ursprünglich im ungedämpften Boden. Der Wassergehalt der Erde war nach der Dämpfung gestiegen.

Im ungedämpften Boden wurde die Keimzahl während der Lagerung bei 20° C von 12 Millionen auf 9,8 Millionen herabgedrückt, während die Zahl der Sporen von 230000 auf 3,5 Millionen zunahm. Ebenso konnte eine Zunahme der Pilze und der Protozoen während der Lagerung beobachtet werden. Es erfolgte außerdem eine Abnahme des Zersetzungsgrades der organischen Substanz, des Ammoniak- und des Nitratstickstoffes.

Vergleicht man nun die Untersuchungsergebnisse des ungedämpften und des gedämpften Bodens am 42. Tage, so ist klar erkenntlich, daß die Dämpfung sowohl einen Anstieg der Keimzahl, als eine Zunahme des Ammoniak- und Nitratgehaltes des Bodens hervorgerufen hat, ihn demnach durchaus im günstigen Sinne beeinflußt hatte.

IV. Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

A. Biologische Untersuchungen.

1. Keimzahl.

Die vorliegenden Untersuchungen (Abb. 1 und 2) zeigen eindeutig, daß der Keimgehalt eines Bodens unmittelbar durch die Dämpfung stark herabgedrückt, daß er aber im Laufe der Versuchszeit von 6 Wochen oft um ein Vielfaches erhöht wird.

Dieses Ergebnis stimmt mit den Beobachtungen von Russell und Hutchinson (16, 17) überein, denn insbesondere ergab sich in diesen Arbeiten, daß später wieder eine Zunahme der Bakterienzahl verursacht wird, wobei letztere andauert, und ihre Höhe die des ungedämpften Bodens bei weitem übersteigt. Auch in weiteren Veröffentlichungen (35) wurde dieses Ergebnis ohne Ausnahme bestätigt.

Bei der Festlegung des Arbeitsprogrammes war besonderer Wert auf die Erfassung der kurz nach der Dämpfung eintretenden Veränderungen gelegt worden. Daher wurden alle Bodenarten 3mal während der ersten 8 Tage untersucht. Diese kurz aufeinanderfolgenden Untersuchungen zeigten, daß die Entwicklung der

Bakterien im einzelnen nicht der oben abgeleiteten Gesetzmäßigkeit gehorcht, sondern, daß der tiefste Stand der Keimzahl erst am 3. Tage (Boden Nr. 8) bzw. am 8. Tage nach der Dämpfung (Boden Nr. 1, 4, 5, 6 und 7) festgestellt wurde. Es ist sicher kein Zufall, daß gerade die tonreichen Böden Nr. 4 und 7 diese Erscheinung zeigen, und es darf angenommen werden, daß diese Böden langsamer abkühlten. Die längere Zeit einwirkenden hohen Temperaturen haben wahrscheinlich zu einer zusätzlichen Vernichtung der Sporen geführt. Daß Boden Nr. 1 dieses Verhalten in ganz besonders deutlicher Form zeigt, ist allerdings auf andere Gründe zurückzuführen, hier dürfte der plötzlich einsetzende Frost, wie bereits Seite 15 erwähnt, eine Rolle spielen. Bei den Böden Nr. 2, 3, 11 und 12 konnte zwar der tiefste Stand der Keimzahl sofort nach der Dämpfung beobachtet werden, jedoch wird die zunächst eintretende Zunahme der Bakterien von einem erneuten Rückgang abgelöst. Nur bei 3 der 12 untersuchten Böden erfolgt eine ununterbrochene Zunahme, und zwar handelt es sich in 2 Fällen (Böden Nr. 8 und 9) um Erden, denen vor der Dämpfung stickstoffhaltige Düngemittel zugesetzt worden waren, während die Probe Nr. 3 von vornherein den höchsten Stickstoffgehalt aufwies.

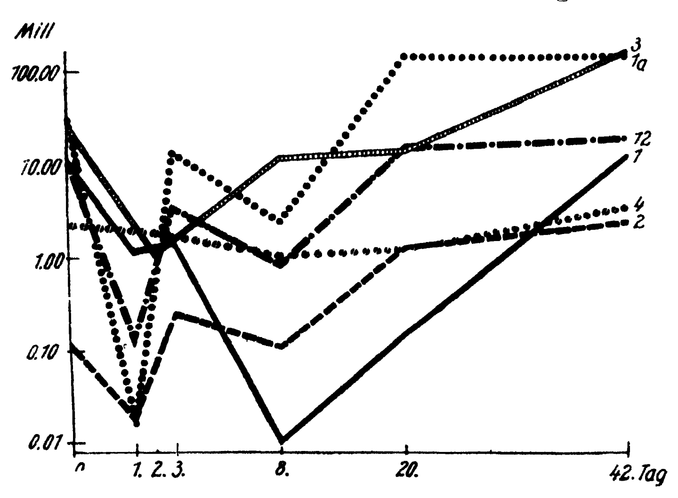


Abb. 1. Keimzahlen in Millionen je 1 g Erde.

Ein Vergleich des Verlaufs der Keimzahlen bei den einzelnen Böden zeigt, daß im großen und ganzen 2 Hauptgruppen gebildet werden können, wie das in Abbildungen 1 und 2 geschehen ist. Bei der Gruppe 1 handelt es sich um Böden, die nach der Dämpfung einen Anstieg der Keimzahl bis zum 5fachen des in den unbehandelten Böden gefundenen Standes zeigen, während die Gruppe 2 auf das 40- bis 100fache ansteigt. Eine Ausnahme machen die Böden 6 und 11 insofern, als hier die Zunahme der Keimzahl vom 20. auf den 42. Tag offenbar durch eine starke Protozoentätigkeit verhindert wurde.

Die Kurvenzeichen sind so gewählt worden, daß vollausgezeichnet die Kurven derjenigen Böden sind, deren Keimgehalt vom 3. auf den 8. Tag noch einmal abgenommen hatte. Die Böden 4 und 7 sind durch schraffierte Kreise bezeichnet, bei ihnen hat die Keimzahl durch die Dämpfung zunächst nur wenig abgenommen. Schraffierte Kurvenzeichen erhielten ferner die Böden 3, 8 und 9, deren Keimzahlkurven, wie oben ausgefuhrt, nach dem 2. bzw. 4. Tage ununterbrochen anstiegen.

Als Ursache für den Entwicklungsverlauf der Bakterien wurde bereits der Stickstoffgehalt des Bodens erkannt. Fragt man nun weiter, welche Faktoren bei den übrigen Böden maßgebend gewesen sind, so kann festgestellt werden, daß nach früheren Arbei-

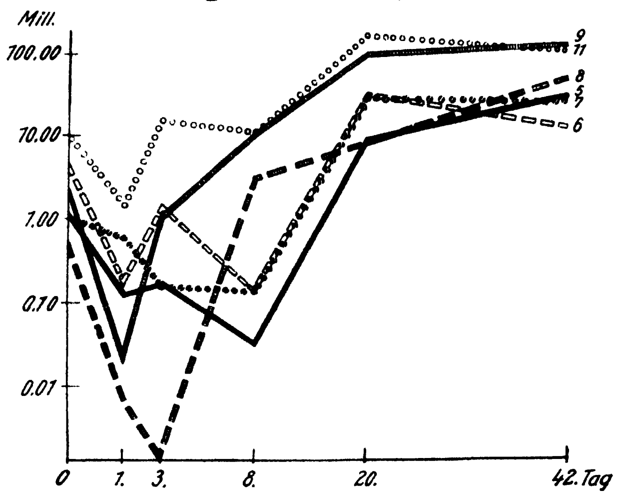


Abb. 2. Keimzahlen in Millionen je 1 g Erde.

ten in erster Linie Wassergehalt und Temperatur [Rippel (36) und Khalil (37)], Reaktion [Stoklasa (38) und Waksman (39)] und organische Substanz (40) verantwortlich gemacht werden müssen.

Hinsichtlich der Reaktion können am besten die Ergebnisse der Titrationsazidität zum Vergleich herangezogen werden. Wie aus den Tabellen 1 bis 12 ersichtlich ist, nimmt die hydrolytische Azidität praktisch in den meisten Fällen ab. Eine Erklärung der Bakterienentwicklung ist auf diesem Wege also nicht möglich. Von Waksman (39) wurde beobachtet, daß die Keimzahl im Boden sich verringerte, sowie dessen p_H-Wert unter 6 sank, er bezeichnete daher diesen als kritischen Wert. Von den untersuchten Böden liegen jedoch nur die p_H-Werte der Heideerde und der Azaleenerde unter dieser Grenze, im allgemeinen ist also die Keimzahl auf diesem Wege nicht beeinflußt worden.

Es unterliegt, wie zahllose Beobachtungen gezeigt haben (40), keinem Zweifel, daß der Gehalt eines Bodens an organischer Substanz für eine lebhafte Entwicklung der Mikroorganismen unerläßlich ist. Freilich ist dabei die Eignung dieser Humusstoffe als Nährsubstrat für Bakterien je nach ihrer Beschaffenheit verschie-

den. In den untersuchten Böden ist die Bakterientätigkeit intensiv, wenn die organische Substanz durch die Erhitzung stark aufgeschlossen wird, wie das bei Boden 3 der Fall ist. Sie wird noch stärker, wenn stickstoffhaltige Substanzen zugesetzt werden (Boden Nr. 8 und 9). Infolge dieser Zugabe werden die Pflanzen eine höhere Wachstumsfreudigkeit zeigen und es bleibt zu prüfen, ob ihre Beimengung vor der Dämpfung erfolgen muß oder wegen der Wahrscheinlichkeit der Ammoniakverluste besser nachträglich vorgenommen werden könnte. Die Beimengung des schwer zersetzbaren Hornmehls mag zweckmäßig vor der Dämpfung erfolgen, da der hierin enthaltene Stickstoff auf diese Weise einen gewissen Aufschluß erfährt. Allerdings werden leicht mineralisierbare organische Stickstoffverbindungen zweifellos besser nach der Behandlung zugesetzt. Von diesem Gesichtspunkt aus wäre weiterhin zu prüfen, welchen Einfluß ein Zusatz von K_2O und P_2O_5 vor der Dämpfung zeigt, da organische P_2O_5-Dünger wie Knochenmehl auf diese Weise vermutlich gut ausgenutzt werden können.

Nunmehr bleibt für die Erklärung des verschiedenen Verhaltens der Mikroflora noch die Temperatur zu prüfen. Die Böden der Gruppe 1 sind außer Nr. 10 in der Zeit von Ende November bis Anfang Februar gedämpft worden, während die Dämpfung der Gruppe 2 (einschließlich Nr. 10) in den Monaten März bis November erfolgte. Da die Dämpfung immer bei der gleichen Temperatur von zirka 98° C vorgenommen wurde, ist die Stärke der Sterilisationswirkung direkt von dieser Temperatur und der Struktur des Bodens abhängig, während in dem weiteren Verlauf der Lagerung die absolute Höhe der Entwicklung der Mikroflora neben anderen Faktoren erheblich von der in dieser Zeit herrschenden Außentemperatur abhängig ist.

Das Maximum der Keimzahl wurde bei vorliegenden Untersuchungen in der Regel am 42. Tage erreicht, die Aufwärtsentwicklung ist jedoch, wie die Ergebnisse von Russell und Hutchinson zeigen, keineswegs abgeschlossen. Es wurde hier lediglich der Boden 12 nach Verlauf von 42 Tagen nochmals untersucht; da er praktisch dieselbe Keimzahl wie am 1. Tage zeigte, muß also angenommen werden, daß der Abstand der gedämpften Erden von den unbehandelten Böden im weiteren Verlauf noch ständig wächst.

2. Sporen.

Die Zahl der Sporen fällt und steigt analog der Keimzahl. So erfolgt bei den Böden 8 und 9 vom 3. auf den 8. Tag keine Abnahme. Das Steigen und Fallen der Zahl der Sporen steht allerdings in keinem prozentualen Verhältnis zu der entsprechenden Keimzahl. So verringerte sich erstere unmittelbar durch die Dämpfung nur unerheblich, während sie oft am 8. Tage dann noch einmal stark herabgedrückt wurde. Am 42. Tage nach der Dämpfung lag der Gehalt an Sporen in den meisten Fällen nur wenig über dem des unbehandelten Bodens, während bei den Böden 3, 7, 8 und 9 eine 20- bis 500fache Zunahme zu beobachten war.

3. Protozoen.

Obwohl man bereits seit Jahrzehnten über die Mikrofauna des Bodens gearbeitet hat und heute ziemlich genau weiß, welche Arten im Kulturboden vorkommen und in welchen Mengen sie auftreten können, ist man jedoch noch nicht in der Lage, Genaueres über ihre Rolle im Boden auszusagen. Zweifellos beteiligen sie sich an der Zersetzung der organischen Substanz des Bodens. Ob indessen die Protozoen den Bakterien gegenüber im Boden eine ebenso beherrschende Stellung einnehmen, wie das bei Flußwässern zutrifft, ist keineswegs als erwiesen anzusehen (21). Verursacht wird diese Unsicherheit dadurch, daß die

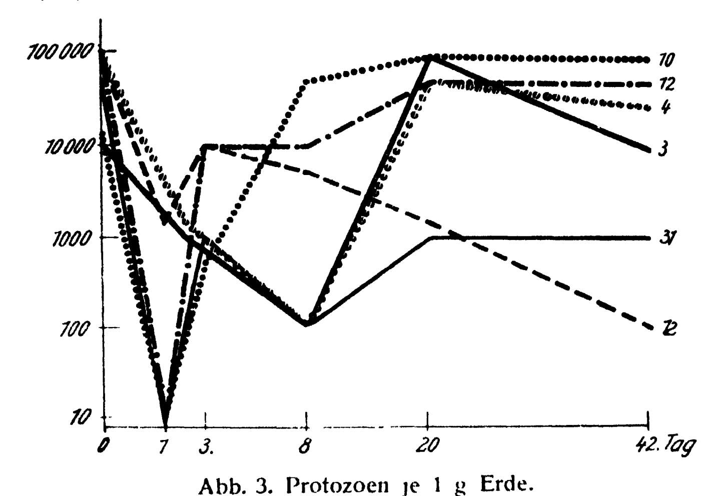


Abb. 3. Protozoen je 1 g Erde.

Abb. 4. Protozoen je 1 g Erde.

Züchtung und vor allem die Zählung der Bodenprotozoen einige Schwierigkeiten bereitet.

Die Untersuchungen über die Zahl der Protozoen, die ein Boden nach der Dämpfung während der Versuchszeit enthielt, zeigten einwandfrei, daß, selbst wenn sie unmittelbar nach der Dämpfung fast ganz verschwunden waren, am 42. Tage bis zu 100 000 Protozoen je 1 g Erde gefunden werden können. Dieses Ergebnis stimmt mit den Befunden Waksmans (20) überein, wonach die Protozoen durch die Dämpfung nicht abgetötet werden. Da Russell und Hutchinson (16, 17) die untersuchten Böden einer außerordentlich intensiven Erhitzung (3 Stunden bei 98°) unterzogen, und sie außerdem den gedämpften Boden direkt unter dem Mikroskop untersuchten, konnten sie in diesem keine Protozoen mehr finden.

Den niedrigsten Gehalt an Protozoen wies ursprunglich die Lauberde „Donner" auf, sie enthielt anfangs 10000 je 1 g Erde. Im Durchschnitt konnten bei den ungedämpften Böden 50000 bis 100 000 Protozoen je 1 g Erde festgestellt werden, nur die Böden Nr. 6 und 11 enthielten im ungedämpften Zustand bereits 1 Million Protozoen je 1 g Erde.

Unmittelbar nach der Dämpfung konnten bei dem größten Teil der Versuchsböden nur noch 10 bis 100 Protozoen ermittelt werden; wenig beeinflußt wurden zunachst die Böden Nr. 2, 4 und 11. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den Verlauf der Protozoenzahl an. Wie aus ihnen ersichtlich, konnte eine einheitliche Zu- oder Abnahme der Protozoen nach der Dämpfung nicht festgestellt werden. Die Einteilung der Protozoenzahlkurven erfolgte daher analog den Kurven der Keimzahl, so daß in Abbildung 3 die entsprechenden Böden von Abbildung 1 enthalten sind, und in Abbildung 4 diejenigen der Abbildung 2. Einheitlich fur sämtliche Protozoenzahlkurven ist nur, daß am 20. Tage der ursprungliche Gehalt an Protozoen wieder fast erreicht, teilweise sogar überschritten war. Vom 20. zum 42. Tage erfolgte dann fast ausnahmslos eine Abnahme der ermittelten Protozoen. Diese war jedoch meistens sehr gering und nur bei den stark sauren Böden Nr. 2 und 5 ist die Zahl der Protozoen am 42. Tage auf 100 je 1 g Erde herabgedrückt worden.

Der Befund der vorliegenden Untersuchungen stimmt mit den Beobachtungen von Russell und Hutchinson nicht uberein. Nach ihrer Anschauung soll die restlose Vernichtung der Protozoen infolge einer partiellen Sterilisation eine starke biologische Aktivität ermöglichen und somit die Fruchtbarkeit des behandelten Bodens steigern. Aus Abbildung 5 ist eine Zusammenstellung des Keim- und Protozoengehaltes sämtlicher ungedämpften Erden zu ersehen, während Abbildung 6 analog die Untersuchungsergebnisse der gedämpften Böden am 42. Tage anzeigt. Aus Abbildung 5 wäre vielleicht eine Beeinflussung der Protozoen auf die jeweilige absolute Höhe des Keimgehaltes zu erkennen, jedoch ist aus Abbildung 6 ersichtlich, daß nach der Dämpfung trotz hoher Proto-

zoenzahl die Keimzahl größer sein kann, als bei Böden mit einem geringen Gehalt an Protozoen.

Im allgemeinen wurde also der Gehalt an Protozoen zunächst stark vermindert (Abb. 3 und 4), da aber nach einer erneuten Zunahme der endgültige Gehalt an Protozoen noch immer sehr hoch war, kann ihre Vernichtung den Anstieg des Keimgehaltes nicht verursacht haben. Da enzystierte Protozoen in größerer Zahl nur während der Wintermonate ermittelt wurden, konnten sie fast ganz außer acht gelassen werden.

4. Pilze.

Die ungedämpften Erden enthielten durchschnittlich 100 000

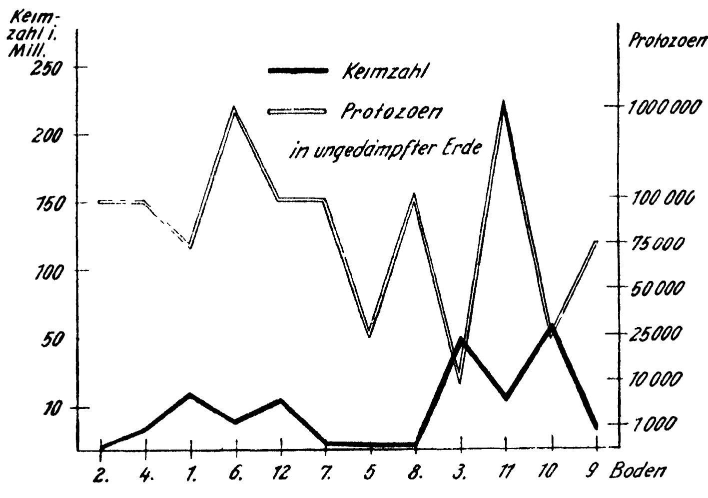


Abb. 5. Protozoen- und Keimgehalt in den ungedämpften Erden.

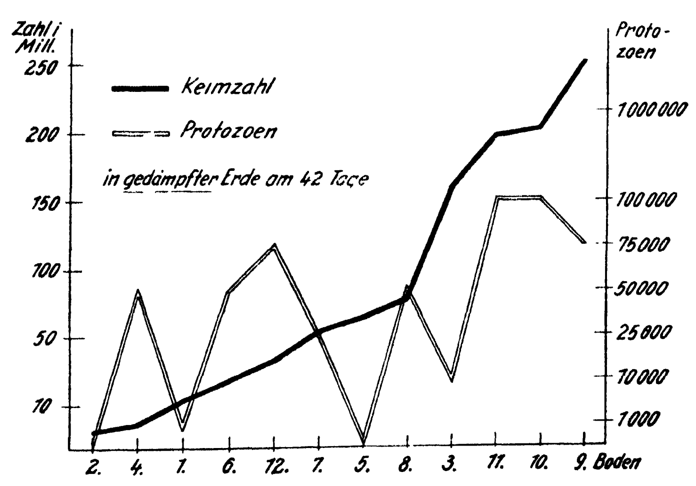


Abb. 6. Protozoen- und Keimgehalt in den gedämpften Erden am 42. Tage.

Pilze je 1 g Erde, nur das Gemisch aus sandigem Lehm und Torfmull (Boden Nr. 8), das erst einige Monate vor dem Dämpfen aufgesetzt worden war, wies anfangs nur 1000 Pilze je 1 g Erde auf. Wie aus den Tabellen 1—12 zu ersehen ist, konnten sofort nach der Dämpfung und auch noch am 3. Tage gar keine oder nur sehr wenige Pilze ermittelt werden. Für die weitere Entwicklung der Pilzzahlen in den untersuchten 12 Böden ergaben sich dann jedoch folgende 3 Gesichtspunkte:

a) Zeigte der Boden eine stark saure Reaktion, so setzte nach der Dämpfung eine starke Pilztätigkeit ein. So wurde bei der Heideerde „Mann" und der Azaleenerde „Pillnitz" eine Zunahme von 10000 bzw. 100000 Pilze in der ungedämpften Erde bis auf 1 Million bzw. 5 Millionen in der gedämpften Erde am 42. Tage festgestellt.

b) Bei den Böden 1, 3, 4, 11 und 12 betrug die Zahl der Pilze nach der Dämpfung am 42. Tage nur einen Bruchteil des ursprünglichen Pilzgehaltes. Bei den in den Herbst- und Wintermonaten gedämpften Erden erfolgte also, sofern die Bodenreaktion neutral oder schwach alkalisch war, nur ein geringes Pilzwachstum.

c) Die wärmere Temperatur der Sommermonate ermöglichte bei den neutralen oder schwach alkalischen Böden 6, 7, 8, 9 und 10 auch eine stärkere Zunahme der Pilze während der Versuchszeit, als bei den in b) erwähnten Böden. So betrug z. B. die Zahl der Pilze in der ungedämpften Zyklamenerde 100000 und am 42. Tage nach der Dämpfung 10000 je 1 g Erde, während die Zahl der Pilze in der Chrysanthemenerde I von 20000 auf 200000 zunahm. Bei keinem der Böden wurde jedoch nach der Erhitzung eine so intensive Pilztätigkeit beobachtet, wie bei den stark sauren Böden 2 und 5.

Waksman und Starkey (20) konnten nachweisen, daß die partielle Sterilisation des Bodens gewisse Pilzarten praktisch ausschließt, auf jeden Fall aber die Zahl der Pilze in dem behandelten Boden stark herabdrückt. Sie beobachteten ferner, daß ein erneutes Pilzwachstum erst nach einiger Zeit einsetzt, deren Länge von der Behandlung und dem Gehalt an organischer Substanz abhängig ist. Die Größe der Zunahme ist wiederum bedingt durch die zur Verfügung stehende Energiemenge. Wenn diese im Überfluß vorhanden ist, so zeigt sich eine schnelle Zunahme der Zahl der Pilze, besonders wenn eine Neuinfektion erfolgt war. Eine spätere Arbeit der Verfasser und auch die Untersuchungen von Burgeß (41) lassen diese Schlußfolgerungen für schwach alkalische (gekalkte) Böden nicht zu.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigten in Übereinstimmung mit den Befunden von Waksman und Starkey, daß in den sauren Böden 2 und 5, die noch dazu 50% bzw. 25% organischer Substanz enthielten, die Zahl der Pilze ungefähr vom 8. Tage an sehr stark zunahm. Bei den übrigen Böden, deren Reaktion neutral oder schwach alkalisch war, zeigte sich ebenfalls nur eine schwache Zunahme der Pilze nach dem Dämpfen. Darüber hinaus konnte jedoch bei den im Sommer gedämpften Böden die Pilzentwicklung stärker sein, als bei den im Winter behandelten.

5. Anaerobe.

Bei den ersten 10 Böden war eine Zählung der obligat anaeroben Bakterien durchgeführt worden. Sowohl bei den Eiweiß- als auch bei den Kohlehydratzersetzern erfolgte durch die Dämpfung zunächst eine Abnahme der Bakterien. Wenn auch bis zum 42. Tage die Zahl wieder anstieg, so konnte doch die ursprüngliche Höhe oft nicht wieder festgestellt werden. Die Anzahl der obligat anaeroben Bakterien hat also nicht zugenommen.

6. Aktinomyzeten.

Die bei den beiden letzten Böden durchgefuhrte Zählung der Aktinomyzeten zeigte, daß die ursprüngliche Menge sich zunächst schwach verminderte, um danach wieder anzusteigen. Immerhin wurde auch nach 42 Tagen die Anfangshohe nicht wieder erreicht. Auch Waksman fand, daß die Aktinomyzeten, im Gegensatz zu den Bakterien, nur wenig zunahmen.

B. Chemisch-physikalische Untersuchungen.

1. Hydrolytische bezw. Austauschazidität.

G. Wiegner und A. Stebutt (42) unterscheiden eine Azidität des festen Bodens und eine solche des Bodenwassers. Sie stellten eine Aufschwämmung eines mit H-Ionen völlig gesättigten Bodens in steigender Konzentration her und fanden, daß in der trüben Flüssigkeit die Aziditat entsprechend der Konzentration zunahm. Sobald diese Aufschwemmungen abgesetzt waren und somit die Flüssigkeit keine Bodenpartikelchen mehr enthielt, entsprach ihr pH-Wert dem des Bodenfiltrates.

In einem normalen Boden sind jedoch diese beiden Phasen nicht unabhängig von einander, sondern unterliegen einer wechselseitigen Beeinflussung, da die Wasserstoffionen verschieden fest an den Kolloidteilchen des Bodens haften. Letztere können schon unter dem Einfluß von Neutralsalzen in Lösung gehen. Da nur ein Teil der kolloidgebundenen H-Ionen abdissoziiert zu sein braucht, kann der feste Boden noch eine saure Reaktion haben.

Nach Kappen unterscheidet man heute zwischen der hydrolytischen und der Basenaustausch-Azidität. Damit erfaßt man jedoch nicht den absoluten Wert derjenigen der festen Phase, erhält aber Anhaltspunkte, wie weit die Azidität fortgeschritten ist. So brauchen Böden, die eine hydrolytische Azidität aufweisen, noch keine Austauschazidität zu zeigen, während nach Kappen an dem Auftreten der letzteren eine fortschreitende Basenverarmung zu erkennen ist.

Es wurde daher für sämtliche 12 Versuchsböden die hydrolytische Azidität bestimmt, sie ist in ccm der verbrauchten n 10 Natronlauge für 125 ccm Filtrat angegeben. Da bei der Heideerde und der Azaleenerde ihre Werte über 10 ccm lagen, wurde für diese beiden Böden die Austauschazidität bestimmt. Wie aus Tabelle 2 und 5 hervorgeht, erfolgte bei beiden Böden im Laufe der Versuchszeit eine Abnahme, obwohl zunächst bei der Azaleenerde eine Steigerung verursacht war. Demnach hat die Dämpfung durch Festlegung von Basen einer weiteren Verarmung entgegengewirkt.

Bei den Böden 1, 4 und 12 bewegen sich die Werte der hydrolytischen Azidität um 1 ccm und müssen für die Beurteilung außer acht gelassen werden. Die Böden 6, 8 und 10 erfahren zunächst durch die Dämpfung eine Zunahme der Azidität, und während bei

diesen Erden erst vom 2. Tage an eine Verbesserung durch ein Absinken der Azidität erfolgte, wurde bei den übrigen Böden ihre Fähigkeit Basen aus hydrolytisch spaltbaren Salzen zu adsorbieren, sowohl durch die Erhitzung als im Laufe der Versuchszeit herabgesetzt. Besonders bei der Lauberde „Donner" war bei gleichzeitigem Aufschluß der organischen Substanz die Azidität des Bodens von 6 ccm auf 0,5 ccm herabgedrückt worden, sie war demnach praktisch verschwunden. Während bei diesem Boden die Verbesserung durch die Dämpfung selbst verursacht worden war, erfolgte bei der Chrysanthemenerde I erst vom 20. auf den 42. Tage eine stärkere Absättigung der Bodenkolloide, wobei die hydrolytische Azidität von 4,9 ccm auf 1,6 ccm verringert wurde.

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse läßt sich feststellen, daß, obwohl bei einigen Böden durch die Dämpfung zunächst eine schwache Zunahme der Azidität erfolgt war, sie bis zum 42. Tage meistens verringert wurde, auf keinen Fall war sie größer als im ungedämpften Boden. Obwohl, wie oben ausgeführt, die Untersuchungsergebnisse keine absoluten Werte angeben, lassen sie doch erkennen, daß bei allen Böden durch die Erhitzung eine Senkung der hydrolytischen Azidität erfolgte.

2. Organische Substanz.

Der mit Hilfe der Glühverlustmethode bestimmbare Gehalt an organischer Substanz ist im allgemeinen nur geringen Schwankungen unterworfen. Nur bei der Heideerde „Mann" ist ein deutlicher Verlust eingetreten; so betrug hier der Gehalt ursprünglich 51%, der zunächst auf 45% und am 20. Tage auf 35% abgesunken ist.

Der Zersetzungsgrad der organischen Substanz zeigt erhebliche Schwankungen. Jedoch hat sich ergeben, daß im allgemeinen eine Abnahme an leicht löslichen Humusstoffen erfolgt war. Nur bei den Böden 3 und 7 konnte zunächst eine Zunahme beobachtet werden, der allerdings später ebenfalls ein Rückgang folgte.

3. Phosphorsäure.

Für die Aufschließung oder Festlegung sind sowohl chemische Prozesse als auch mikrobielle Tätigkeit maßgebend (43). Eine Aufschließung der Phosphorsäure nach der Dämpfung konnte bei den vorliegenden Untersuchungsergebnissen bei 7 von 12 Böden beobachtet werden, wobei allerdings die Mengen sehr verschieden waren. Sie waren am stärksten bei Boden 6, hier betrug die Zunahme 650 mg je 1000 g Boden. Im allgemeinen lagen die Werte jedoch niedriger.

Die Lauberde war besonders reich an Phosphorsäure, denn sie enthielt im ungedämpften Zustand bereits 7,70 g schwer lösliche und hiervon sogar 6,56 g P_2O_5 je 1000 g Erde als leicht lösliche P_2O_5. Während, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, nach der Dämpfung ein starker Aufschluß der organischen Masse beobachtet wurde, konnte gleichzeitig eine außergewöhnliche Festlegung der Phosphorsäure festgestellt werden. Im Laufe der weiteren Versuchszeit erfolgte zwar wieder eine Zunahme, jedoch wurden am

42. Tage erst wieder 3,31 g leicht lösliche und 5,06 mit 10%iger Salzsäure extrahierbare P_2O_5 je 1000 g Erde gefunden.

4. Nitratstickstoff.

Der Nitratgehalt der Böden war, wie anzunehmen, sehr verschieden hoch. So konnte bei der Lauberde 77 mg Nitratstickstoff je 100 g Erde festgestellt werden, bei Boden 1 und 10 etwa 27 mg% Nitrat-N, im allgemeinen enthielten die Böden jedoch nur 2—11 mg%. Bei allen Erden konnte aber durchweg eine Abnahme infolge der Dämpfung festgestellt werden. Dieses Untersuchungsergebnis stimmt mit den Beobachtungen Russells und Hutchinsons überein, die festgestellt hatten, daß durch die partielle Sterilisation eine Störung des Nitrifikationsprozesses, oft aber auch eine Abnahme des Nitratstickstoffes erfolgte. Diese beiden Autoren hatten ferner beobachten können, daß ungefähr einen Monat nach der Erhitzung die Nitrifikation erneut einsetzte, wobei die ermittelte Nitratmenge bald die in der gleichzeitig untersuchten ungedämpften Erde weit überflügelt hatte.

5. Ammoniakstickstoff.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Nitratbildung war hier von vornherein mit einer starken Zunahme des Ammoniakgehaltes zu rechnen, da ja ammoniakbildende Bakterien zur Sporenbildung befähigt sind. Aus den Abbildungen 7 und 8 ist nun ersichtlich, daß jedoch nur bei einem Teil der untersuchten Böden eine ununterbrochene Zunahme des Ammoniakstickstoffes im Laufe der Versuchszeit festgestellt werden konnte. Dieser Befund steht im Gegensatz zu früheren Untersuchungsergebnissen (35), denn es wurde durchweg eine mehr oder minder starke Zunahme des Ammoniakgehaltes beobachtet. Russell und Hutchinson kamen sogar zu der Überzeugung, daß die erhöhte Fruchtbarkeit partiell sterilisierter Böden eine Folge des erhöhten Ammoniakgehaltes sei, der wiederum durch die intensive Bakterientätigkeit verursacht würde. Die beiden Autoren machen allerdings später die Einschränkung, daß bei sogenannten nährstoffreichen Böden, die außerdem große Mengen organischer Substanz enthielten, die Zunahme des Ammoniaks nicht parallel zu der der Keimzahl zu verlaufen brauche.

Das gleichmäßige Ansteigen der Ammoniakkurven war nun jedoch bei einer Lagerung der Boden bei konstanten Temperaturen von 20° C beobachtet worden. Da sie bei den vorliegenden Untersuchungen jedoch bei den einzelnen Betrieben im Freien gelagert hatten, konnten durch Außenfaktoren bedingte Schwankungen erwartet werden. Weiterhin kann Ammoniak bei der bereits erwähnten Nitratbildung und ferner bei der Assimilation des Ammoniaks verbraucht sein.

Vergleicht man die Untersuchungsergebnisse, wie sie aus den Tabellen 1 bis 12 zu ersehen sind, so kann ein deutlicher Einfluß der Temperatur festgestellt werden. In der Abbildung 7 sind daher die Böden enthalten, die im Herbst und im Winter gedämpft wurden, in Abbildung 8 die im Frühjahr und im Sommer erhitzten.

Bei den Böden Nr. 1, 2, 3 und 4, die in den Wintermonaten gedämpft wurden, erfolgte zwar entweder sofort oder bis zum 8. Tage eine Zunahme des Ammoniakgehaltes; das Ammoniak wurde jedoch später wieder verbraucht. Bei dem im Spätherbst gedämpften Boden 11 ging der Ammoniakgehalt des Bodens am 8. Tage ebenfallls zurück, stieg aber dann bei zunehmender Außentemperatur in der Zeit vom 9. bis zum 20. Tage noch einmal an,

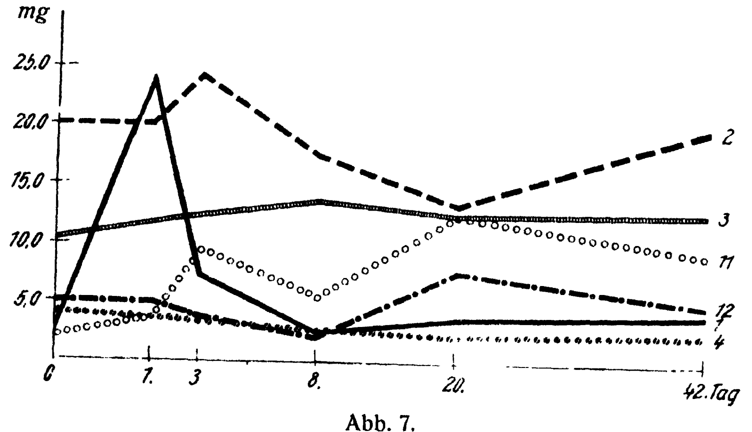


Abb. 7.
Ammoniakbildung in mg je 100 g Erde.

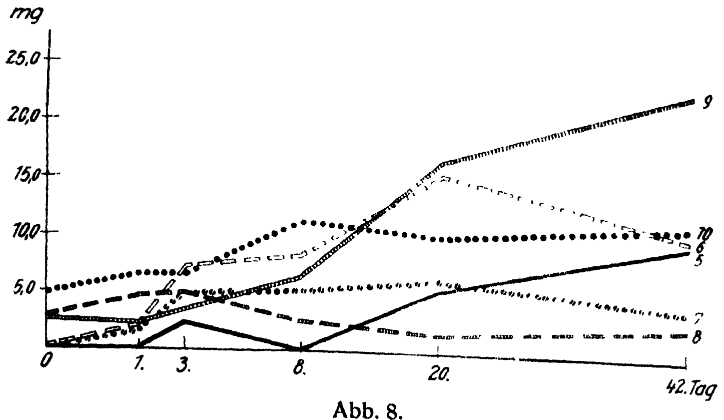


Abb. 8.
Ammoniakbildung in mg je 100 g Erde.

um dann erneut zu fallen. Bei Boden 12 erfolgte zunächst während der Lagerung des Erdhaufens im Freien eine Abnahme des Ammoniakgehaltes. Wie erwähnt waren aber die am 20. und am 42. Tage untersuchten Erdproben sofort nach der Dämpfung im Gewächshaus aufbewahrt worden. Die Ammoniakkurve steigt dementsprechend vom 20. Tage, während nach weiteren 3 Wochen infolge einsetzender Nitrifikation eine geringe Abnahme zu beobachten war. Der gleichzeitig untersuchte ungedämpfte Boden hat dagegen

ursprünglich einen Gehalt an Ammoniakstickstoff von 4,9 mg% und am 42. Tage 2,1 mg%. Es zeigt sich also, daß die Mehrerzeugung von Ammoniak auf die Dämpfung zurückzuführen war und daß bei höherer Lagerungstemperatur die Intensität der Ammoniakbildung zunimmt.

Bei Boden 5, der Mitte März gedämpft worden war, konnte zum erstenmal eine ununterbrochene Zunahme des Ammoniakstickstoffes, und zwar von 0,0 mg auf 9,0 mg% festgestellt werden. Wie aus Abbildung 8 ferner zu ersehen ist, haben die im April erhitzten Böden 6 und 7 ihren Höhepunkt am 20. Tage erreicht. Auch diese beiden Böden hatten ursprünglich kein Ammoniak enthalten. Der am 2. Juni gedämpfte Boden 8 zeigt außerordentlich geringe Schwankungen, es war zugleich der humusärmste Boden, der die geringste Wasserkapazität und das höchste Volumgewicht aufwies. Die Kurven der Böden 9 und 10 steigen dagegen wieder ununterbrochen an, es wurde eine Zunahme von 2,5 mg% bzw. 4,9 mg% auf 22,4 mg bzw. 11,2 mg beobachtet.

Zusammengefaßt zeigen die Ergebnisse folgendes: Die durch die Dämpfung bereits erhöhte Ammoniakmenge kann durch die einsetzende Bakterientätigkeit noch gesteigert werden. Ein deutlicher Anstieg der Ammoniakkurve erfolgte aber nur, wenn der Boden bei Temperaturen über 10° C gelagert worden war. Ein Parallelismus zwischen Keimzahl- und Ammoniakkurven war nicht festzustellen. Jedoch trat bei starker Zunahme des Keimgehaltes eines Bodens eine stärkere Ammoniakbildung auf als bei solchen mit niedriger Keimzahl.

6. Wasserkapazität und Wassergehalt.

Jeder Boden hat die Fähigkeit, eine ganz bestimmte Wassermenge aufzunehmen und festzuhalten. Diese „Wasserkapazität" schwankt bei den verschiedenen Böden je nach ihrer physikalischen Beschaffenheit in mehr oder weniger weiten Grenzen. Sie ist von der Größe der Bodenteilchen und der Lagerungsweise des Bodens im stärksten Maße abhängig. Je feiner das Korn ist und je zahlreicher die kapillaren Poren sind, desto größer ist das Wasserhaltungsvermögen. Im Krümelzustand nimmt daher ein Boden mehr Wasser auf als in Einzelkornstruktur.

Bei den vorliegenden Untersuchungsergebnissen muß ganz allgemein zunächst festgestellt werden, daß Böden mit hoher Wasserkapazität stets auch einen hohen Gehalt an organischer Substanz enthielten. So stieg bei dem Boden 2 bei einem Gehalt von 51% organischer Masse die Wasserkapazität bis auf 349% an, während der Boden 8 nur 3,75% organische Substanz enthielt und infolgedessen eine Wasserkapazität von nur 34% zeigte. Das Wasserhaltungsvermögen der übrigen Böden gehorcht diesem Gesetz durchaus.

Da jedoch die Menge der organischen Substanz durch die Dämpfung in nur geringem Umfang verändert wird, ist die bei den Böden beobachtete Ab- bzw. Zunahme der Wasserkapazität nicht erklärt. Bei Boden 3 z. B. ist ein deutlicher Rückgang von 131% auf 107% festzustellen, während die organische Substanz unverändert etwa 26% beträgt. Die gesamte organische Masse

des Bodens 5 von etwa 24% schwankt während der Versuchszeit ebenfalls nur in geringen Grenzen, seine Wasserkapazität steigt dagegen von 91% auf 98% an. Diese beiden Böden unterscheiden sich vor allem durch die Reaktion. Ein Vergleich der ubrigen Böden zeigt, daß ganz allgemein bei alkalischen Böden eine Abnahme und bei neutralen bzw. sauren Erden eine Zunahme der Wasserkapazität nach der Dämpfung zu beobachten ist. So sinkt das Wasserhaltungsvermögen bei den Böden 4, 6, 10 und 12, während es bei den Erden 1, 9 und 11 ansteigt.

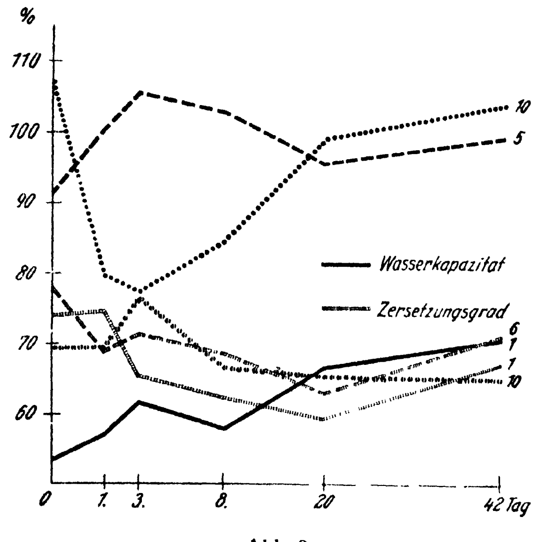


Abb. 9.
Wasserkapazität und Zersetzungsgrad.

Ein Zusammenhang zwischen Wasserkapazitat und Zersetzungsgrad konnte bei fast allen Böden beobachtet werden, und zwar erfolgte ein Steigen des Wasserhaltungsvermogens bei der Abnahme des Zersetzungsgrades und umgekehrt. In Abbildung 9 sind die besonders charakteristischen Wasserkapazitats- und Zersetzungsgradkurven der Böden 1, 5 und 10 zu ersehen. Ahnlich verhielten sich die Erden Nr. 2, 3, 4 und 11. Das Ausmaß der Verschiebung innerhalb der Wasserkapazität wurde indessen vorwiegend von der Größe der gesamten organischen Substanz des Bodens bestimmt.

Der Wassergehalt der Böden schwankt nur in engen Grenzen, vor allem ist eine stärkere Durchnässung, die auf Grund der Zuführung größerer Mengen Wasserdampf hätte erwartet werden können, anscheinend nicht eingetreten. Drückt man nun aber den Wassergehalt in Hundertteilen der Wasserkapazität aus und errechnet somit also den Sättigungsgrad der Boden, dann ergibt sich folgendes Bild:

Boden	Sättigungsgrad %		Differenz-%
	ungedämpft	gedämpft — 42. Tag	
1	45,3	34,3	— 11,0
2	28,4	24,03	— 4,4
3	38,2	46,7	+ 8,5
4	30,9	54,7	+ 24,3
5	46,2	59,7	+ 13,5
6	43,4	56,9	+ 13,5
7	36,0	43,5	+ 7,5
8	47,2	52,5	+ 5,3
9	40,9	34,4	— 6,5
10	31,8	32,3	+ 0,5
11	48,9	58,7	+ 9,8
12	40,8	47,8	+ 7,0

Im allgemeinen hat der Sättigungsgrad der Böden also zugenommen, die Erden sind demnach tatsächlich relativ feuchter geworden mit Ausnahme von den Böden 1, 2 und 9, bei denen der relative Wassergehalt sogar abgenommen hat. Da für das Wachstum der Mikroorganismen der Sättigungsgrad maßgebend ist, hätte man eine Auswirkung dieser Veränderungen auf die Keimzahl vermuten können, es konnte jedoch irgendein Einfluß nicht beobachtet werden.

Bei schweren, tonreichen Böden, wie Nr. 4, 7 und 11, tritt eine nachteilige Beeinflussung der Bodenstruktur auf, die sich in der Bildung sehr fester Klumpen äußert. Solchen Böden wird man zweckmäßigerweise organische Substanz in Form von Torf usw. oder Sand vor der Dämpfung zusetzen.

V. Einfluß der Dämpfung auf das Pflanzenwachstum.

Bei der Dämpfung „müder" Böden hatte man feststellen können, daß nach der Erhitzung die Böden nicht nur wieder voll ertragsfähig waren, sondern daß darüber hinaus eine erhöhte Fruchtbarkeit verursacht worden war. Zur Erklärung dieser Beobachtungen wurden verschiedene Theorien aufgestellt. So nahm man an, daß die Zunahme des Ammoniakgehaltes der erhitzten Böden das erhöhte Pflanzenwachstum hervorrief. Die Ursache der Ammoniakanreicherung suchte man einerseits durch die „Protozoentheorie" zu erklären, andererseits wies man nach, daß auch zur Ammoniakbildung befähigte Pilze nach einer Dämpfung stark zunehmen können (16, 17 und 20). Ferner glaubte man, daß eine bei der Dämpfung gebildete stickstoffhaltige Verbindung den erhöhten Ernteertrag ermögliche (13) und schließlich war es auch gelungen, Stoffe aus dem erhitzten Boden zu isolieren, die in dem unbehandelten nicht zu finden gewesen waren, so daß man sie als fördernd für das Pflanzenwachstum ansah (14).

Neben müden Böden wurden jedoch auch bald verseuchte Erden gedämpft, da man durch die starke Erhitzung auch eine Abtötung phytopathologischer Organismen erreichen wollte und auch wirklich bewirken konnte. Da jedoch durch die Erhitzung auch eine Vernichtung der Unkrautsamen verursacht wurde, also ein Jäten des Unkrautes nicht mehr nötig war, so erkannte man in der Dämpfung auch eine arbeitssparende Maßnahme.

Da man wie oben ausgeführt, die erhöhte Fruchtbarkeit dieser Böden durch die Mobilisierung der Nährstoffe erklären zu können glaubte, vermutete man, daß auch bei nicht verseuchten oder „müden" Böden eine Dämpfung diesen Aufschluß und somit eine Erntesteigerung hervorrufen könne. Da man außerdem auch ständig eine Infektion gesunder Erden befürchtete, wird heute die Dämpfung auch bei bisher in gärtnerischen Betrieben unbenutzten

Böden und bei noch voll ertragsfähigen angewendet, so daß gefordert wird, daß die Dämpfung eine sich regelmäßig wiederholende Kulturmaßnahme wird (44). Neben einer Behandlung von Gewächshauserden werden jetzt auch Freilandböden z. B. auch mit Hilfe des Dämpfrostes oder der Dämpfkappe erhitzt.

Obgleich im allgemeinen die erwartete Steigerung des Ernteertrages beobachtet werden konnte, mußten auch Mißerfolge immer wieder in Kauf genommen werden, denn da man die Auswirkung einer Dämpfung vor allem in physikalischer Beziehung nicht in ihrem vollen Umfang kannte, konnte man den Erfolg der Maßnahme nicht in allen Einzelheiten voraussehen. Da diese Mißerfolge sich in einem ungenügenden Wachstum der Kulturen zeigen, war es nötig, auch diese Frage zu erörtern. In Verbindung mit den vorliegenden Untersuchungen wurden daher auch in einigen Leipziger Betrieben Vegetationsbeobachtungen durchgeführt.

Da immer wieder empfohlen wird, den gedämpften Boden zunächst etwa 2 bis 4 Wochen unbenutzt liegen zu lassen, erschien es ratsam, nicht nur die biologischen und chemischen Untersuchungen sofort nach der Dämpfung in kürzeren Abständen durchzuführen, sondern auch die Vegetationsversuche sofort nach der Dämpfung einzuleiten.

Vor allem sind in dem Heideerdegemisch „Engler" in 3tägigen Abständen Kulturversuche mit Zyklamen, Tradescantia und Begonien durchgeführt worden. Wenn keine speziellen Vegetationsversuche angelegt worden waren, wurde regelmäßig das Wachstum der Pflanzen sowohl in ungedämpfter als in gedämpfter Erde beobachtet.

Eine Schädigung nach der Dämpfung konnte auftreten

1. bei der Keimung der Samen,
2. bei der Bewurzelung der Stecklinge,
3. bei wachsenden, umgetopften Pflanzen.

Bei Stecklingen konnte sowohl in Pillnitz als in den Leipziger Gartenbaubetrieben fast durchweg ein besseres Wachstum in der gedämpften Erde festgestellt werden, wenn auch Chrysanthemen kein eindeutiges Resultat erkennen ließen.

Bei Zyklamenpflanzen konnte dagegen wohl eine dunklere Farbe der Blätter und eine bessere Bewurzelung beobachtet werden, ein ausgesprochen rascheres Wachstum der Pflanzen erfolgte dagegen im behandelten Boden nicht.

Systematische Untersuchungen dieser Art wurden in der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Pillnitz a. d. Elbe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Kulturversuche sind von Noll (45) veröffentlicht worden.

Noll (45) konnte bei Versuchen in einer Erde, die in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht worden war, beobachten, daß bei Kohl und Salat bereits nach 1 Woche bzw. 3 Tagen nicht nur keine Verzögerung der Keimung mehr erfolgte, sondern sogar ein schnellerer Auflauf festzustellen war. Auch bei Keimversuchen mit den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Erden, konnte bei Salat, Radies und Rettichen ebenfalls keine Schädigung der Keimlinge in der gedämpften Erde beobachtet werden.

Ganz allgemein kann demnach festgestellt werden, daß eine Hemmung des Wachstums auch bei sofortiger Verwendung der

ausgekühlten Erde in keinem Falle eingetreten war. Wenn nun jedoch durch die Dämpfung lediglich ein Aufschluß an Nährstoffen erfolgt war, so hätten auch die mit Wurzeln eingebrachten Zyklamen den gleichen Vorteil ziehen müssen. Da das aber nicht der Fall war, sondern Samenpflanzen und Stecklinge sich besonders günstig entwickelten, so müssen biologische Faktoren eine Rolle gespielt haben. Da vor allem keimende Samen und wurzeltreibende Stecklinge in der ersten Zeit ihrer Entwicklung gar keinen hohen Bedarf an Nährstoffen haben, sie aber trotzdem eine bessere Entwicklung zeigen, ist anzunehmen, daß wahrscheinlich die Bedingungen der Rhizosphärebakterien im gedämpften Boden im besonderen Maße verändert werden. So können bei Samen und Stecklingen sich die noch im Boden vorhandenen Bakterien entwickelt haben, während bei ungetopften Pflanzen nur die bereits in deren Rhizosphäre wachsenden Organismen in Tätigkeit traten. Die Frage müßte jedoch noch geprüft werden.

Weiterhin müssen auch die Veränderungen der Böden in physikalischer Beziehung sorgfältig beobachtet werden, denn, wie bereits oben erwähnt, konnte bei tonreichen Böden die Bildung von zähen Klumpen beobachtet werden und es wäre wichtig zu erfahren, inwieweit ein Zusatz von Torf oder auch Sand vor der Dämpfung diese Strukturverschlechterung der schweren Böden verhindern könne. Andererseits ist es sicher unerwünscht, wenn die organische Substanz in so hohem Maße zersetzt wird, so wie z. B. bei der Heideerde „Mann" ein Rückgang der organischen Masse von 51% auf 37% während der Versuchsperiode beobachtet wurde. Zumal bei bisher unbenutzten Böden erscheint es dringend erforderlich, die Notwendigkeit einer Dämpfung sorgfältig zu prüfen.

VI. Zusammenfassung.

1. 12 Boden wurden in verschiedenen Gartenbaubetrieben gedämpft und biologisch und chemisch untersucht, außerdem jedoch auch einige Vegetationsbeobachtungen durchgeführt.

2. In Ubereinstimmung mit früheren Arbeiten hat die Dämpfung eine vorübergehende Vernichtung der Mikroorganismen des Bodens zur Folge, darauf ist ein erneutes starkes Wachstum, das wesentlich höhere Keimzahlen als im ungedämpften Boden verursacht, zu beobachten. Die stärkste Abnahme der Keimzahl wurde bei schweren Böden nicht unmittelbar nach der Dämpfung, sondern erst am 3. bzw. 8. Tage beobachtet.

3. Eine besonders lebhafte Bakterienentwicklung wurde dann festgestellt, wenn den Böden vor der Dämpfung stickstoffhaltige Düngemittel zugesetzt worden waren.

4. Die Außentemperaturen beeinflußten die Bakterienentwicklung nach der Dämpfung erheblich, im Sommer war sie wesentlich stärker als im Winter.

5. Im Gegensatz zu den Angaben von Russell und Hutchinson waren die Protozoen nach der Dämpfung keineswegs restlos

vernichtet, sondern auch sie entwickelten sich ganz erheblich. Die Protozoentheorie kann also die erhöhte Fruchtbarkeit partiell sterilisierter Böden nicht erklären.

6. Saure Böden zeigten nach der Dämpfung eine starke Zunahme der Schimmelpilze, neutrale und schwach alkalische Erden dagegen nicht.

7. Der Gehalt der Böden an obligat anaeroben Keimen wurde durch die Dämpfung nicht beeinflußt.

8. Im Gegensatz zu den Bakterien wurde eine lebhaftere Entwicklung der Aktinomyzeten nach der Dämpfung nicht festgestellt.

9. Die hydrolytische Azidität nahm in der Regel kurz nach der Erhitzung in geringem Umfang zu, sank jedoch am Ende der Beobachtungsperiode meist unter den anfangs festgestellten Wert.

10. Obwohl infolge der Erhitzung der Böden eine restlose Unterbindung der Nitrifikation hätte erwartet werden können, setzte diese z. T. recht kräftig wieder ein.

11. Die Dämpfung bewirkt eine deutliche Forderung der Ammoniakbildung.

12. Der Gehalt des Bodens an organischer Substanz wurde wenig beeinflußt, nur in einem Falle wurde eine deutliche Abnahme festgestellt.

13. Die Wasserkapazität stieg mit steigendem Gehalt des Bodens an organischer Substanz, sie fiel meist bei erhöhtem Zersetzungsgrad der letzteren.

14. Bei alkalischen Böden bewirkt die Dämpfung eine Senkung der Wasserkapazität, bei neutralen bzw. sauren dagegen eine Steigerung.

15. Die Struktur schwerer, humusarmer Boden scheint durch die Dämpfung in ungünstigem Sinn beeinflußt zu werden, es erscheint zweckmäßig, diesen vor der Behandlung Sand bzw. Torf beizumischen.

16. Vergleicht man Wasserkapazität und Wassergehalt, so ist der in Hundertteilen der ersteren angegebene Sattigungsgrad bei 3 Böden gefallen, bei allen übrigen gestiegen. Im allgemeinen sind die Böden also relativ feuchter geworden.

17. Die Vegetationsbeobachtungen zeigten, daß gedämpfte Böden sofort nach ihrer Abkühlung wieder verwendet werden können, eine Schonfrist von 2—4 Wochen erwies sich also als nötig.

18. Eine bessere Entwicklung der Kulturpflanzen wurde bei Samen und Stecklingen, nicht dagegen beim Umtopfen bewurzelter Pflanzen beobachtet. Der Grund dürfte also in der ersten Entwicklung nicht in einer Aufschließung von Nährstoffen allein liegen, sondern auch in mikrobiologischen Faktoren zu suchen sein.

Ich möchte an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Glathe für die Zuteilung der Arbeit sowie für seine liebenswürdige Unterstützung meinen verbindlichsten Dank aussprechen. Außerdem möchte ich Herrn Dr. Arnold, Leiter der Außenstelle Leipzig für Gartenbau der Landesbauernschaft Sachsen, sowie Herrn Dr. Noll von der staatlichen Versuchs- und Forschungsanstalt für Gartenbau in Pillnitz a. d. Elbe für ihre Hilfe bei der Beschaffung der Erden bestens danken. Die untersuchten Erden stammen zum größten Teil aus der

Versuchs- und Forschungsanstalt in Pillnitz, auf deren Anregung hin die vorliegende Arbeit in Angriff genommen wurde. Außerdem habe ich noch den Gartenbaubetrieben „Engler“ in Miltitz b. L., „Donner“ in Borsdorf b. L., „Richter“ in Wiederitzsch b. L. und „Mann“ in Leipzig für die Überlassung der Erden zu danken.

Schrifttum.

4. Voigt, E.: Methoden der Schädlingsbekämpfung. Zbl. Bakt. II, Jena **61**, 1927, 323—355.
5. Warington, R.: J. Chem. Soc., London, **33**, 1878, 44—51.
6. Perraud, J.: Ann. Agr., Paris, **1**, 1875, 291.
7. Pagnoul, M.: Ebenda, **21**, 1895, 497—501.
8. Hiltner, L., u. K. Störmer: Studien über die Bakterienflora des Ackerbodens mit besonderer Berücksichtigung ihres Verhaltens nach einer Behandlung mit Schwefelkohlenstoff und nach Brache. Arb. Biol. Abt. d. Kaiserl. Gesundheitsamtes, **3**, 445—528.
9. Kopeloff, N., u. D. A. Coleman: A review of investigations in soil sterilisation, Soil Sci., Baltimore, **3**, 1917, 197.
10. Frank, B. A.: Über den Einfluß, welchen das Sterilisieren des Erdbodens auf die Pflanzenentwicklung ausübt. Ber. deutsch. Bot. Ges. Berlin, **6**, 87—89.
11. Dietrich, Th.: Versuche über den Einfluß der Bodensterilisation auf das Wachstum der in dem sterilisierten Boden kultivierten Pflanzen. Jahresber. d. Landw. Vers.-Station Marburg, 1901/2, 16.
12. Schulze, C.: Einige Beobachtungen über die Einwirkung der Bodensterilisation auf die Entwicklung der Pflanzen, Landw. Vers.-Station Berlin, **65**, 1907, 137.
13. Pickerings, S. U.: The action of heat and antisepticis on soils. Agr. Sci., London, **3**, 1908, 32—54 u. 258—284.
14. Schreiner, O., u. E. C. Lathrop: The chemistry of steam-heated soils. U. S. Dep. Agr. Bur. Soils, **89**, 1912.
15. Osmun, A. V.: A comparison of the numbers of bacteria in sterilized and unsterilized soils. Mass. Agr. Exp. Stat. Rep., , 1905, 146—148.
16. Russell, E. J., u. H. B. Hutchinson: The effect of partial sterilisation on the productivity of plant food. J. Agr. Sci., London, **3**, 1909, 111—145.
17. Russell, E. J., u. H. B. Hutchinson: The limitation of bacterial numbers in normal soils and its consequences. Ebenda, **5**, 1913, 152—221.
18. Russell u. Petherbridge: On the growth of plants in partially sterilized soils, Ebenda, **5**, 1913, 248—287.
19. Russell u. J. Golding: Investigations on "sickness" in soil. Ebenda, **5**, 1913, 27—47.
20. Waksman, S. A., u. R. Starkey: Partial sterilisation of soil, microbiological activities and soil fertility. Soil Sci., Baltimore, **16**, 1923, 137—158, 247—268 u 343—357.
21. Koffmann, M.: Die Mikrofauna des Bodens, ihr Verhältnis zu anderen Mikroorganismen und ihre Rolle bei den mikrobiologischen Vorgängen im Boden. Arch. Mikrobiol., Berlin, **5**, 1934, 246—302.
22. Stone: The present status of soil sterilisation. Mass. Exp. Stat., **24**, Ann. Rep., 1911, 121—125.
23. Bewley, W. F.: Über die Dampfbehandlung von Gewächshauserde in England. Sächs. Gärtnerbl., 1929, NH. 21, 385.
24. Noll, J.: Bodendämpfung, kranke Pflanze. Dresden, 1936, H. 9.
25. Reinhold, J.: Die Bodendesinfektion. Gartenbauwirtsch., Berlin, 1927, H. 26, 31.
26. Löhnis, F.: Landw. bakteriolog. Praktikum, Ausg. 1920, 123.
27. Cutler, D. W.: A method for estimating the number of active protozoa in the soil, J. Agr. Sci., London, **10**, 1920, 135—143.
28. Glathe, H.: Über die Rotte des Stalldüngers unter besonderer Berücksichtigung der Anaeroben-Flora. Zbl. Bakt., Jena II, **91**, 1934, 65—101.
29. Mc Intosh, J., u. P. Fildes: Brit. J. Exp. Path., London, **2**, 1921, 153.

30. Wiessmann, H.: Agrikulturchem. Prakt. Quantit. Analyse, Berlin, 1926.
30a. Lemmermann, O.: Methoden für die Untersuchung des Bodens, Berlin, 1932.
31. Robinson, G. W., u. J. O. Jones: A method for determining the degree of humification of soil organic matter, J. Agr. Sci., London, **15**, 1925, 26—29.
32. Densch: Über die Genauigkeit bei der Bestimmung verschiedener Stickstofformen in Bodenauszügen. Mitt. d. Kaiser-Wilhelm-Inst., Bromberg, **1**, 1909, 402—404.
33. Waksman, S. A.: Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum. Fortschr. naturwiss. Forsch. N. F., 1930, H. 10.
34. Malkomesius u. R. Albert: Studien über Humussäuren. J. prakt. Chemie, N. F., **70**, 1904, 509—515.
35. Löhnis, F.: Handbuch d. landw. Bakteriologie. II, 593—597.
36. Rippel, A.: Handbuch der Bodenlehre. Blanck, **7**, 1931, 259.
37. Khalil, F.: The effect of drying on the microbiological process in soils. Zbl. Bakt. II, Jena, **79**, 1929, 93.
38. Stoklasa, J.: Der jetzige Stand des Problems der Bestimmung der Fruchtbarkeit des Bodens auf Grund der modernen biologischen und biochemischen Forschung. Fortschr. d. Landw., Berlin, **2**, 1927, 52.
39. Waksman, S. A.: (siehe Angabe unter Punkt 33).
40. Löhnis, F.: Handbuch der landw. Bakteriologie. **2**, 528—570.
41. Burgess, R.: The partial sterilisation of slightly alkaline soil by means of couch grass fires. Zbl. Bakt. II, Jena, **78**, 1929, 497.
42. Stebutt, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde, Berlin, 1930, 235.
43. Stoklasa, J.: Biochemischer Kreislauf des Phosphations im Boden. Zbl. Bakt. II, Jena, **29**, 385—519.
44. Schwartz, G.: Bodendämpfung als Kulturfaktor zur Bodenverbesserung im Gartenbau. Pflanzenkrankh. u. Pflanzensch., Stuttgart, **42**, 1932, 193—232.
45. Noll, J.: Beitrag zur Frage der Bodendampfung, Sitzungsberichte und Abhandlungen. Flora, Dresden, N. F. Jg. 41 u 42, 1936/1938. [247]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Bodenkunde und Pflanzenernährung

Neue Folge der „Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde", Band 1—45

Herausgegeben von der Reichsarbeitsgemeinschaft „Landwirtschaftliche Chemie" im Forschungsdienst

---

13. (58.) Band



1939

Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin

Printed in Germany

Druck von G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig).

Originalarbeiten

Seite

Alten, F., u. *R. Gottwick*: Untersuchungen an Mais über die Beziehungen zwischen dem Trockensubstanzaufbau und der Kohlensäureausscheidung durch die Wurzeln 353

Beling, R. W.: s. *H. Kappen, R. W. Beling, W. Utsch* u. *E. Pfingsten* .

Berkner, F., E. Wiese u. *B. Newrzella*: Gründüngungsversuche 370

Fehér, D., M. Frank u. *G. A. Manninger, jun.*: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Mikroorganismentätigkeit auf das dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali und Stickstoffverbindungen des Bodens 341

Fischer, R.: s. *O. Unverdorben* u. *R. Fischer* . . . .

Frank, M.: s. *D. Fehér, M. Frank* u. *G. A. Manninger, jun.* . . . . .

Gericke, S., u. *E. P. v. Polheim*: Versuche über die Wirkung von Ca- und Mg-Verbindungen auf Boden und Pflanze 232

Gottwick, R.: s. *F. Alten* u. *R. Gottwick* . . . .

Grosse, B: Vergleich der Bohrer nach Hey, Janert und Mitscherlich zur volumetrischen Entnahme von Bodenproben 326

Hensel, W.: Veränderung der physikalischen Bodenverhältnisse durch Abwasserzuführung 257

Herrmann, R, u. *H. Kretzdorn*: Untersuchungen über den Arsengehalt von Weinbergsböden und die Aufnahme von Arsen aus arsenhaltigen Böden durch die Reben 169

Hock, A.: Huminsäurebestimmung mittels Oxydimetrie 117

Hoffmann, W: Neuere Untersuchungen über die Ursache der Urbarmachungskrankheit und die Wirkung des Kupfers als Spurenelement 139

Hüllweck, G: s. *G. Wimmer, H. Lüdecke* u. *G. Hüllweck* . . . . . .

Jessen, W.: Die Wirkung von Rohphosphat auf das Wachstum der Holzarten in sauren Waldboden 249

Kappen, H., R. W. Beling, W. Utsch u. *E. Pfingsten*: Untersuchung über die Düngewirkung des Hüttenkalkes 11

Keese, H.: s. *F. Ströbele, H. Keese* u. *H. Reith* . . . .

Knippenberg, E.: s. *E. Rauterberg* u. *E. Knippenberg* . . . . . .

Kretzdorn, H.: s. *R. Herrmann* u. *H. Kretzdorn* . . . .

Lehmann, W.: Gefäßversuche zur Bewertung der Phosphorsäure in Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska 226

Leitzke, B.: s. *W. Nicolaisen, W. Seelbach* u. *B Leitzke* . . . . . .

Lüdecke, H.: s. *G. Wimmer, H. Lüdecke* u. *G. Hüllweck* . . . .

Manninger, G. A.: s. *D. Fehér, M. Frank* u. *G. A. Manninger, jun.* . . .

Mitscherlich, E. A.: Zur Mitscherlichschen Ertragsgleichung 135

Němec, A.: Untersuchungen über den Einfluß chlorhaltiger Kalidüngemittel auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen 370

Newrzella, B.: s. *F. Berkner, E. Wiese* u *B. Newrzella* . . . .

Nicolaisen, W., W. Seelbach u. *B. Leitzke*: Untersuchung über die Bekämpfung der Heidemoorkrankheit mit Kupferschlacke 156
Pfingsten, E.: s. *H. Kappen, R. W. Beling, W. Utsch* u. *E. Pfingsten* . .
Polheim, E. P. v.: s. *S. Gericke* u. *E. P. v. Polheim* . . . .
Rauterberg, E., u *E. Knippenberg*: Stickstoffbestimmung in nitrathaltigen Pflanzen 194
Reith, H.: s. *F. Ströbele, H. Keese* u. *H. Reith* . . . .
Schoel, W.: Ein Arbeitsgang zur serienmäßigen Bestimmung von Vergleichswerten physikalischer Bodeneigenschaften an in naturlicher Lagerung entnommenen Zylinderproben 305
Seelbach, W.: s. *W. Nicolausen, W. Seelbach* u. *B. Leitzke* . . . . .
Ströbele, F., H. Keese u. *H. Reith*: „Was leistet der Stickstoff im Weizenbau?“ 198
Süchting, W.: Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse des Waldes 72
Unverdorben, O., u. *R. Fischer*: Beitrage zur Bestimmung kleiner und kleinster Bormengen 177
Utsch, W.: s. *H. Kappen, W. Utsch* u. *E. Pfingsten* . . . .
Vassiliades, W.: Praktische Durchführung der Arbeit zur Verdrängung der austauschfähigen Basen aus dem Bodenkomplex nach der Wasserdampfmethode 242
Wiese, E.: s. *F. Berkner, E. Wiese* u. *B. Newrzella* . . . . . .
Willcox, O. W.: Zur Mitscherlichschen Ertragsgleichung 129
Wimmer, G., H. Lüdecke u. *G. Hüllweck*: Das Verhalten des Hüttenkalkes im Boden 1

Sach-Verzeichnis

Bodenkunde und Pflanzenernahrung
13. (58.) Band 1939

Abfallstoffe der Cu-Industrie als Ersatz fur $CuSO_4$ 156
Absorptionserscheinungen des Dungerkalis 98
— des Düngerkalkes 98
Absorptionswert von Huminsäurelosung 118
Abtropfkammer bei der Bestimmung der Wasserkapazität 309, 310
Abwasser. Aufbringen städtischer — 257
—. Nährstoffreichtum des — . . 303
—. Organische Substanz des — 258
—. Schwebestoffe im — als Feuchtigkeitsträger 284
—. Veranderung des Bodens durch — 303
—. Verwertung der stadt. — durch die Landwirtschaft . . . 257, 303
Abwasserkläranlagen 303
Abwasserüberstauung. Verhalten des Bodens gegenuber — 295
Abwasserverrieselung auf landwirtsch. genutzten Flachen . . 257
als Mittel zur organ. Substanz-Zufuhr 265
Abwasservorreinigung. Veranderung der Bodenstrukutr bei —. 257, 258
Abwasserzuführung. Veranderung der physikal. Bodenverhältnisse durch 257, 301
Acidum huminicum nach Merck. Versuche zur Aufklarung der 141, 144, 146, 147
Ackerboden. Bestimmung der Bodennährstoffe auf chem. Wege 73, 74
—. Borbestimmung im — . . . 184
Ackererde. Bestimmung der Humussubstanz in der — . . . 128
Adsorptionsfähigkeit des Bodens, Einfluß auf die Wirkung des $CuSO_4$. 147
Adsorptionskraft des Bodens. Veränderung der — 154
Adsorptionsverhältnisse beim Tonschiefer 91
Adsorptionsvermögen der mit HCl behandelten Humussäure 146, 147
Ätzkalk als Dünger 260
Agrotyp einer Pflanze . . 133, 134
Agulhon, H.: Borbestimmung . 193
Aktivität der Bodenmikroorganismen 343
Aldehyde, Bildung bei der Permanganat-Oxydation 127
Algierphosphat, seine Wirkung auf saure Mineralböden . . . 249
—. Prufung der Wirkung im Vergleich mit Thomasmehl und Superphosphat 252, 253, 254, 255
Alkaligehalt des Gichtstaubes . 31
Alten, F.: Humusbestimmung mit Chromschwefelsäure . . 120, 128
—. Bestimmung von Stickstoff-Fraktionen 198
—. Bestimmung des Strukturfaktors nach Vageler— 315
Aluminium-Aufnahme der Fichtennadeln, Beeinflussung durch die Bodenreaktion 63, 64, 65, 66, 71
— der Fichtennadeln, Beeinfl. durch Düngung . . 63, 64, 65, 66
— der Fichtennadeln, Beeinfl. durch Kalisalze . . 64, 65, 66, 71
Aluminiumgehalt des Bodens, Einfluß auf die Al-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kali-Düngung 64, 65, 66, 71
— in saurer Hochofenschlacke 28
— der Kupferschlacke 156
Aluminiumhydroxyd zum Ausschütteln kranken Bodens 152, 153
Aluminiumsulfat als Nährlösung 141
Ameisensäure, Bildung bei $KMnO_4$-Oxydation 127
α-Aminosäure-Stickstoff. Bestimmung des — 194
Ammoniak. Mikrobiologische Beeinflussung von — . . 344, 345
Ammoniak-Bestimmung nach der Mikro-Kjeldahl-Methode . 344
Ammoniakdünger als Stickstoffdünger 201

Ammoniakstickstoff. Zusammenhang mit dem Bakteriengehalt 349
Ammonchlorid für Bodenauszüge zur K-Bestimmung . 74, 103, 104, 105, 107, 116
— als Nährlösung 141
Ammonnitrat als Grunddüngung 158, 226, 229, 253
Ammonsulfat als Grunddüngung 53
Analysenmethoden zur Borbestimmung 177
Anmooriger Sand . . . 2, 3, 4, 5
Apsits, J.: Die Dynamik der physikalischen Eigenschaften des Bodens und dessen Fruchtbarkeit 315, 325
Äquivalentdurchmesser, Beziehungen zur Saugspannung . 266
Arsen als Pflanzenschutzmittel . 170
Arsenaufnahme aus As-haltigem Boden durch die Reben . . . 169
— durch die Rebpflanze 174, 175, 176
— durch die Wurzeln der Reben 169
Arsenbestimmung im Boden nach der Methode von Lockemann 170, 171, 172
Arsengehalt, Bestimmung in den einzelnen Pflanzenteilen des Rebstockes . . 170, 171, 172, 173ff.
— in Traubenmosten und Weinen 169
— von Weinbergsböden . 169, 170ff.
Arsenhaltige Spritzmittel zur Bekämpfung des Heu- und Sauerwurms im Weinbau . . 169, 170, 172ff.
Arsenspeicherung in Weinbeeren 176
Aschen. Nährstoffgehalt der — forstlichen Kulturpflanzen 251, 256
Asche der Gerstenernte, Gehalt an Nährstoffen 240, 241
Aschebestimmung in der Erntesubstanz . . . 238, 239, 240, 241
Aschmann, C.: Bestimmung der Humussubstanz in der Ackererde 119, 128
Aspergillusmethode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure 344, 350
Atmungskohlensäure. Wirkung der — als Ursache der Mikroorganismenbeeinflussung der Salze im Boden 342
Atterbergs Bodeneinteilung . . 263
Aufschließungsvermögen der Böden für Rohphosphate . . 251
— der Pflanzen 249
Aufstieggefäß zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufes der kapillaren Wasseraufnahme . . 307, 308, 310
Aufstieggeschwindigkeit bei Zylinderentnahmen . . . 309, 317
Austauschazidität. Bestimmung der — . . 2, 4, 7, 8, 9, 13, 37, 38
— des Bodens bei Düngung mit Hüttenkalk 19, 24
— verschiedener Böden . . . 250
— des Bodens bei verschiedenen Hochofenschlacken 22
—. Verminderung durch Thomasmehl in Waldböden . . 254, 255
— bei Waldböden 75
Austauschvorgänge. Gipswirkung auf Grund von — . . . 232
Auswaschung in der oberen Mineralbodenzone 77
Azetate. Störende Begleitstoffe bei der Borbestimmung 183, 186, 187
Azidität verschiedener Böden 76, 234
Aziditätswerte des Boden bei verschied. Hochofenschlacken . 22
— bei verschied. Hüttenkalken 19, 24
— bei Anwendg. versch Kalke 17, 18
Azidität. Austausch- — 2, 4, 7, 8, 9
Aziditätsbestimmung . 2, 3, 4, 344
Azidität, hydrolytische . 2, 4, 7, 8, 9, 10, 13
— bei verschied. Hüttenkalken 19, 24
— des Bodens bei verschiedenen Kalkgaben 17, 19

Bakteriengehalt. Zusammenh. zwischen — und leichtlösl P-, K- u. N-Verbindungen 346, 348, 349
Bakterientätigkeit. Optimum der — bei best. Wasserkapazität 346
—. Zusammenhang mit dem Nitratstickstoffgehalt 348
Bakterienzählung mit der Plattenmethode 344
Bakterienzahl im Boden . . . 346
Bariumchloridlösung zur Sulfatbestimmung 246
Bariumsulfat zum Ausschütteln kranken Bodens 152, 153
Basalt. Kalibedürftigkeit auf — 113
—. Kennzeichnung von — . . . 113
. N-Ausnutzung auf 102
— als Versuchsboden . . 75, 76 ff.
Basenbedarf des Bodens 235, 236, 240, 241
Basengehalt der Ernteprodukte beim Gerstenversuch . . 238, 239
— saurer Schlacken 30
Basisch wirkende Formen von Kalk und Magnesia als Düngemittel. 231
Bauer, Erwin: Züchtung der Süßlupine 383
Baule. Nährstoffeinheiten . . . 136

Bausandstein. Kalibedürftigkeit auf — 113
—. Kennzeichnung von — . . . 113
—. Phosphorsäurebedürftigkeit von — 100
—. Stickstoffbedürftigkeit von — 102, 116
— als Versuchsboden . . . 76 ff.
— -Verwitterungsboden für Versuche 253, 254, 255
Bayernkönig für Weizenanbauversuche 201
Beersches Lichtabsorptionsgesetz 118
Beidüngung. Einfluß der — auf d. Verwertung d. Rohphosphate 249
Beizmittel, kupferhaltige . . . 140
Belebtschlammverfahren. Kläranlage nach dem — . . 258, 363
Benetzbarkeits-Messung nach Spring und Schmidt 289
— von Riesel- und Naturlandboden 287, 288, 302
Benetzungswärme. Beeinflussung durch Salze 292
—. Bestimmung mit dem Kalorimeter 291
— des Bodens 304
— als Ergänzung zur Bodenanalyse 290, 291, 292
— von Rieselland- u. Naturlandboden 302
Benetzungswiderstand des Bodens 289
Berieselung. Eignung verschiedener Bodenarten für — . . 258
—. Umformung des Bodenmaterials durch — 300, 301
—. Korngrößenverschiebung durch — 264
Berkner, F.: Gründüngungsfragen 376, 384
Bertrand u. Agulhon. Kolorimetrische Borbestimmung nach — 178, 193
Bewässerungsortstein. Bildung infolge von Trockenheit . . . 269
Bindungsfestigkeit des Kalkes in den Hüttenkalken 12, 15, 17, 18, 34
Biodynamische Grundlagen der Bodenatmung 352
Biofaktoren der freien Natur . 344
Biologische Abwasserreinigung 257
— bedingtes Verhalten der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze 342
— Beeinflussung der Kreislaufvorgänge der leichtlösl. Phosphor- und Kalisalze der Böden 352
— Beeinflussung der Salze durch künstl. Beeinflussung der Mikroorganismentätigkeit 343
Blatterträge bei N-Düngungsversuchen mit Runkelrüben . 138
Blattverluste bei höchster Schlakkengabe beim Lupinenversuch 164
Bleigehalt der Kupferschlacke 156, 169
Blom, I.: Quantit. Bestimmung. kleinster Nitratmengen . . . 198
Boden. Veränderung durch Abwasser 295, 303
—. Adsorptionsfähigkeit des —, Einfl. auf die Wirkung des $CuSO_4$ 147
—. Adsorptionskraft des —, Verminderung durch Wasserentzug 154
—. Al-Gehalt des —, Einfl. auf die Al-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kalidüngung. . 64, 65, 66, 71
—. Anreicherung zweiwertigen Eisens durch reduzierende Vorgänge im Boden 150
—. Arsengehalt von Weinbergs— 169
—. Ausnutzung der Phosphorsäure des Bodens durch versch. Holzarten 100
—. Ausschüttlung mit versch. Salzen 152
—. Azidität des — 234
—. Basenbedarf des — 235, 236, 240, 241
—. Bearbeitung zur Verbesserung kranker — 151
—. Benetzbarkeit des — . 287, 288
—. Benetzungswärme des — . 304
—. Boranalysen in — . . 177, 178
—. Wirkung von Ca- und Mg-Verbindungen auf — 231
—. Charakterisierung nach Korngrößenzusammensetzung 263, 265
—. Chlorgehalt des — 40
—. Durchlässigkeit für Luft im — 285
—. Faktoren als Maßstab für die Güte des — 73
—. Verhalten des Hüttenkalkes im — 1, 7
—. Humussol als Schutzkolloid im Boden 153
—. Bestimmung der Hygroskopizität des — 315
—. Kaligehalt des —, Einfluß auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln 46, 47
—. Einfl. auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 56, 57, 58, 70
—. Einfl. auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln . . 58, 59, 70
—. Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 54, 55
—. Einfl. auf die SiO_2-Aufnahme der Fichtennadeln 66, 67 68, 71
—. Kaliversorgung des — 35, 41, 49, 52, 113

Boden. Kalkversorgung des — 38, 42, 43, 50, 231, 232, 234, 235
—. Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 55, 70
—. Kationen- und Wasserhaushalt des — 370
—. Kupferfestlegung im — durch bestimmte Bodenart 146
—. Löslichmachung des Kupfers durch Erhitzen 151, 153
—. Kupfermangel im — als Ursache der Urbarmachungskrankheit 154
—. Bestimmung von wasserlösl. Kupfer in getrocknetem und ungetrocknetem — 151
—. Lösungsverhältnisse im — . 151
—. Ergründung des mechanischen Aufbaus des — 306
—. Einfl. der Mikroorganismentätigkeit auf das dynam. Verhalten der leichtlös. P-, K- und N-Verbindungen im — . . . 341
—. Mn Gehalt des —, Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kalidüngung 61, 62, 70
—. Nährstoffbedürftigk. versch. — 97
—. Nährstoffbestimmung nach Neubauer 225
—. Nährstoffversorgung des —, Einfl. auf den Kaligehalt von Fichtennadeln 47
—. Phosphorsäuregehalt des —. Einfl. auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln 46, 47, 48, 49, 50
—. Phosphorsäureversorgung des Bodens 37, 38, 251
—. Einfl. auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 55, 56, 57, 58 70
—. Einfl. auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln . . 58, 59, 70
—. Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln . . 53, 54, 55
—. Einfl. auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln 51, 52, 53, 69, 70
—. Physikal. Beschaffenheit des —, Abhängigkeit von — 139
—. Reaktionsverbesserung durch Mg-Düngung . . . 225, 232, 242
—. Rieselmüdigkeit des — . . 257
—. Schwefelversorgung des — aus der Luft 231
—. Sorptionskomplexe des — . 283
—. Stickstoffbedürftigkeit des — 115, 116
—. Stickstoffvorrat des — und Ertrag 205
—. Strukturanalyse des — . . 304
—. Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im — 304
—. Wasserversorgung. Einfl. auf die Fichtenverluste 43
Bodenaggregate. Verhalten der — 294
Bodenanalyse. Ergänzung durch Bestimmung der Benetzungswärme 290
—, **Mechan.** Zur Ermittlung des natürlichen Koagulationsgehaltes und Tongehaltes . . 266, 304
Bodenarten. Anmooriger Sand 2, 3, 4, 5
—. Bausandstein—, Verwitterungsboden 253
—. Eignung versch. — für Berieselung 258
—. Einfl. auf die Aufnehmbarkeit der Rohphosphate 249
—. Einteilung nach Janert auf Grund der Benetzungswärmen 292
—. Hochmoorboden . . . 2, 3, 45
—. Humoser Lehmboden . . . 13
—. Kornerträge bei versch. 214, 215
—. Lehmiger Buntsandsteinboden 225
—. Lehmiger Sand 1, 2, 3, 4, 5, 6
—. Niederungsmoorboden 2, 3, 4, 5
—. Sandtorfgemisch 1, 6
—. Saurer Lehmboden 233
—. Einfluß auf die Stickstoffleistung 211, 215, 216
—. Stickstoffverwertung bei verschiedenen — 315
—. Weizenertragsfähigkeit verschiedenen — 215
Bodenatmung. Biodynamische Grundlagen der — 352
Bodenaufschließungsvermögen N-sammelnder Pflanzen . . . 382
Bodenaufschlüsse mit Perhydrol 170, 172
Bodenausschüttlung. Filtratfärbung bei — 153
Bodenauszug mit Ammonchlorid 103, 104, 105, 107, 116
—. Farb- u. Oxydationswerte von — je Konzentrationseinheit C 123
—. Fulvosäuren bei Humusbest. in den — 122
—. Permanganatwerte pro Konzentrationsheit für — 121, 124, 127
—. Permanganatverbrauch von — in Beziehung zur C-Konz. der Lsg. 122
— mit Salzsäure 102, 104, 105, 107
— mit Zitronensäure . . . 103, 108
Bodenazidität 242
—. Beseitigung durch Kalkdüngg. 249
Bodenbearbeitung. Prakt. Maßnahmen der — auf Grund verschied. Faktoren 306

Bodenbearbeitung. Zur Verbesserung kranken Bodens . . 151
—. Einfl. auf die Wuchsleistung auf Waldböden 77
Bodenbestimmung in veränderter Lagerung 314
Bodenbildungsprozesse. Verhinderung durch Humussol . 153
Bodendüngerbedarf 134
Bodendurchlässigkeit für Luft 287
Bodeneigenschaften, Physikalische. Vergleichswerte . . 305
Bodeneinteilung nach Atterberg 263
Bodenextrakt. Huminsäure-Gel im 124, 125
—. K-Werte des — 123
Bodenfeuchtigkeit. Optimumgrenze der — 343
Bodenfeuchtigkeitsuntersuchungen 326
Bodengare. Verbesserung der Phosphor- und Kaliversorgung durch entsprechende — . . . 351
Bodengefüge. Kennzeichnung des — 304
Bodengewicht. Größe beim Mitscherlichbohrer 331
Bodenhumus. Ermittlung der Güte des — 110
Bodenkali. Ausnutzung des — 98
—. Löslichkeit des — . . 103, 104
Bodenkalk. Löslichkeit des — 106, 107
Bodenkalkung als Grundlage für Düngungsmaßnahmen . . . 250
Bodenkolloide als Mittel zur Umwandlung vom Einzelkorn zur Krumelstruktur . . . 292, 303
Bodenkomplex. Verdrängung absorbierter Kationen mit Wasserdampf aus dem 243
Bodenkrümel. Zusammenhalt u. Zerfall von — nach Begießen mit Wasser 294
Bodenkupfer. Einfl. von Humus auf die Wirkung 141
Bodenlagerungsuntersuchung. 326
Bodenleistungsfähigkeit. Abhängigkeit v. Textur u. Struktur 262
Boden-Luft-Wasser-Verhältnis bei Riesel- und Naturland 274, 275
Bodenmikroorganismen. Aktivität der — 343
—. Einfluß auf die Mobilisierung schwer lösl. Grundverbindungen nach dem R-Gesetz . . 343, 344
—. Optimumgrenze des Wassergehaltes des Bodens 344
—. Zusammenhang mit dem Nitrat-Stickstoffgehalt 348
Bodennährstoffe. Gipswirkung auf Grund von Umsetzungen mit den — 232
—. Löslichkeit der — 74
Bodenoberfläche. Beschaffenheit und Verhalten aus der Verdunstung 313
Bodenphosphorsäure. Löslichkeit der — . . . 107, 108, 109
Bodenphysikalische Eigenschaften. Bestimmung der — 306, 318
Bodenprobenentnahme nach Hey 306, 326, 337, 338, 339, 340
— volumetrisch nach Hey, Janert und Mitscherlich 326
— Janert . . . 329, 337, 338, 339
— nach Krauß 261
— Mitscherlich 326, 330, 331, 334, 335, 336, 338, 339, 340
— Nitzsch 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 336, 337, 339
Bodenqualität u. aptierte Fläche 258
Bodenreaktion. Bestimmung der — 2, 3, 4, 6, 7, 8
— Einfluß auf die Al-Aufnahme der Fichtennadeln 63, 64, 65, 66, 71
—. Austauschazidität 2, 3, 4, 7, 8, 9
—. Beeinflussung durch $CaSO_4$ und $MgSO_4$ . . . 233, 234, 235
— bei Düngungsversuchen von jungen Fichten 37
—. Beeinflussung der — durch Gipsdüngung 231
—. Beeinfl. durch Hüttenkalk 8, 9
—. Hydrolytische Azidität 2, 3, 4, 7, 8, 9
—. Beeinflussung der Kalidüngewirkung auf das Fichtenwachstum 43, 47
—. Beeinflussung durch Kalk 82, 83, 85, 86
—. Beseitigung durch Kalkung 250, 251
—. Einfluß auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln 60, 61, 62, 70
—. Einfluß auf die Nahrstoffaufnahme aus sauren Böden 74, 75
—. Beeinflussung durch versch. Phosphorsäuredünger . . 254, 255
—. Einfluß auf die praktische Verwendung d. Rohphosphate 249, 251
—. Reaktionsverhältnisse des — 236
—. Einfluß auf die SiO_2-Aufnahme der Fichtennadeln 66, 67, 68, 71
—. Einfluß auf die Stickstoffverwertung 217, 224
— bei Weizenbauversuchen . . 200
—. Einfluß auf die Wuchsleistung der Holzarten . . 5, 73, 77, 117
Bodensaugkraft. Verantwortlich für die Sickergeschwindigkeit 313

Bodensäure. Einfl. auf die Wurzelausbildung 5, 6
Bodenschichtung bei Zylinderentnahme-Versuchen . . 316, 317
Bodenstickstoff. Ausnutzbarkeit des — . . 110, 116, 130, 132, 137
—. Relat. Löslichkeit des — 51, 52, 53
—. Massenwirkung zwischen Pflanzen und — 133
Bodenstruktur. Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens 304
—. Kennzeichnung durch Porenvolumen 266
—. Neue Fragen der — . . . 304
—. Stabilität der — . 292, 293, 299
—veränderung bei der Vorreinigung des Abwassers . . . 258
Bodentätigkeit. Intensität der — 300
— im Riesel- und Naturland . . 278
Bodentitration, elektrometrische 242
Bodentrocknung mit Phosphorpentoxyd 307
Bodentyp. Beziehung zur Reduktionsgröße 121
Bodenuntersuchung 7
— von Weinbergsböden . . . 170
Bodenverbesserung durch Kalk 98, 110
— durch Schlackenzersetzung 23, 31
Bodenverhältnisse in deutschen Weizenanbaugebieten 200
—. Veränderung der physikal. — durch Abwasserzuführung . . 257
— physikalische, als Ursache für phytopatholog. Stoffwechselstörungen 305
Bodenverkrustung durch Abwasserrückstände 258
Bodenvolumen. Berechnung aus Trockengewicht und spezifisch. Gewicht 306, 308
Bodenwasser. Bedeutung der Luft für das 285
Bodenzerlegung nach der Sieb- und Sedimentationsmethode . 263
Bodenzustand, biologischer, Einfluß auf die Mobilisierung verschiedener Salze 351
Bohrgeräte, volumetrische . 326 ff.
Bollmann, A.: Borbestimmung 178, 193
Bor. Analysenmethoden des —. 177
—. Geochemie des — 193
— zur Heilung der Herz- und Trockenfäule 177
—. Wirkung als Spurenelement . 139
Borabtrennung durch Destillation 185
Boranalysen in Böden 178
Boranreicherung im Destillat . 179
Borbestimmung. Einwaagen bei der — 184
—. Indikatoren bei der — . . . 182
— als Kaliumborfluorid 178
— gravimetrische, nach Gooch 177, 178
— nach Rosenbladt 177
- kolorimetrische, mit p-Nitrobenzol-azo-chromotropsäure 178, 193
— volumetrische 178, 179
. Prüfung des zur — verwandten Perhydrols 191, 192
— in Pflanzenteilen 177
— nach C. Thaddeeff 178
Borbestimmungsmethoden. Brauchbarkeit der — . . 177, 184, 192, 193, 194
— polarimetrische 178
— spektographische 178
Borfluorkalium. Bestimmung der Borsäure als — 193
Borsäure, Bestimmung als Borfluorkalium 193
—. Kongorot als Reagens auf — 193
—. Maßanalytische Bestimmung der — 193
— als Nährlösung 141
—. Quantit. Bestimmung der — . 194
—. Titration isolierter — . . . 188
Borsäuregehalt. Ermittlung aus dem Drehungsvermögen einer wäßrigen Weinsäurelösung . . 178
Borsäuremethylesterdestillation 178, 179, 183, 186, 192
Borverluste bei längerer Kochdauer 190
Boudet, J.: Volumetrische Borbestimmung nach — . . . 178
Brachebearbeitung. Notwendigkeit einer 382
Brachebehandlung. Einfluß auf die Nachfrucht des folgenden Jahres 384
Branntkalk. Düngewirkung von — 17, 34
—. Einfluß auf die Quellfähigkeit der Schlacke 21
—. Einfluß auf Strohertrag 14, 15, 26, 32
—. Ertragssteigernde Wirkung des — 18, 24, 25
— als Zusatz zu Gichtstaub . 17, 31
— als Zusatz zu Hüttenkalk . 13, 18
—. Wirkung auf den Kornertrag 14
Braunerden. Fulvosäure-Anteile in — 125
Bromthymolblau als Indikator . 245
Buchenholzsägespäne zum Vorziehen junger Pflanzen . . . 353
Buntsandsteinboden für Gefäßversuche 225

Carl, A.: Bedeutung der landw. Abwasserverwertung 303
Carstens V für Weizenanbauvers. 201
C-Faktor bei der Humusbestimmung 120, 126, 127
Chapin, W.: Volumetrische Borbestimmung nach — . . 178, 193
Chemie des Moores 128
Chemisch-biologische Faktoren als Maßstab für die Güte des Bodens 73
Chilesalpeter. Bemerkungen über — in Beziehung zur Borfrage 193
Chinalizarinlösung zur kolorimetr. Borbestimmung 178
Chlorgehalt des Bodens . . . 40
— in Kalidüngemitteln 40
Chlorionen. Ungünstiger Einfl. auf das Fichtenwachstum . 68, 69
Chloroform. Bildung beim Eindampfen trichlor-essigsaurer Lösung 195
Chlorophobie der Pflanze . . 72
Chloroseerkrankung bei Fe-Mangel 142, 145
Chlorose. Milderung durch Eisenzusatz 146
Chloridanreicherung im Boden als Versuch des Engerwerdens des Kali : Kalziumverhältn. in der Pflanze 57
Chromotrop 2 B für kolorimetrische Borbestimmung . . . 178
Chromschwefelsäure. Humusbestimmung mit — 120
C-Konzentration der Lsg., Permanganatverbrauch von Bodenauszügen in Beziehung zur — 122
Cobalt. Wirkung als Spurenelement 139
Councler, C., u. **W. Schütze:** Aschengehalt einjährig. Fichten 72
Criewener 104 für Weizenanbauversuche 201
Curcuma. Farbreaktion von 178
Cyanidgehalt im Gichtstaub . . 33

Degredation in der oberen Mineralbodenzone 77
— durch Versäuerung, Auswaschung u. Entbasung 75
Densch, H. 305
Destillationsapparatur für Borbestimmung 185
Dikalziumphosphat. Kornerträg. bei Düngung mit — 227
—. Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit — . . . 228, 229
—. Wirkungswert der Phosphorsäure im 225
—. Zusammensetzung des — . 226
Dikalziumsilikat. Zersetzlichkeit durch Säuren 11
Diluvialsand als Versuchsboden 76, 78, 79ff.
Dithizon zum Entfernen von Kupferspuren 141
Dolomit, Gebrannter. Wirkung auf Ertrag 24, 25
Donat, I.: Zur Kennzeichnung des Bodengefüges 304
—. Porengrößenermittlung nach — 266, 267
Drehungsvermögen einer wäßr. Weinsäurelösung, Borgehaltsermittlung aus dem — . . . 178
Düngemittel. Boranalysen in — 178
—. Gips als — 236
Düngerbedürftigkeit. Grenzzahlen für die — 111
Düngerkali. Ausnutzung des — bei versch. Holz- u. Bodenarten 97
Düngerwirkung von Branntkalk 34
— von Fluorsalzen 232
— von Gichtstaub 31, 34
— von gequollener Hochofenschlacke 19
— von Hüttenkalk 11, 16
— von Kalksteinmehl 34
— von Kalk- u. Magnesiumsalzen zu Gerste 237
—. Zusammenhang mit der Quellfähigkeit der Hochofenschl. . 21
Düngung. Einfl. auf die Al-Aufnahme der Fichtennadeln 63, 64, 65, 66
—. Einfl. auf die Fe-Aufnahme der Fichtennadeln 62, 63
—. Einfl. auf die Fichtenverluste 43
—. Einfl. auf den K-Gehalt der Fichtennadeln . . . 45, 46, 47
—. Einfl. auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 55, 56, 57, 58, 70
—. Einfl. auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln . . 58, 59, 70
—. Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln . . 60, 61, 62
—. Einfl. auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln 50
—. Einfl. auf die SiO_2Aufnahme der Fichtennadeln . . 66, 67, 68
—. Einfl. auf das Trockensubstanz : CO_2-Verhältnis . 362, 363ff.
—. Einfl. auf die Wuchsleistung junger Fichten 36, 37
Düngungmaßnahmen. Faktoren für die Wirtschaftlichkeit von — 207
Düngungsversuche mit $CuSO_4$ zum Beweis der Kupferbedürftigkeit der Pflanze 141

Dulk, W.: Unters. über Saatschulpflanzen 72
Durchlässigkeit des Bodens . 314
— von Naturland 277
Durchlässigkeitswert von Huminsäurelösung 118
Durchlässigkeitszahlen nach Janert 284, 286, 302
Durchlaufgeschwindigkeit. Beeinflussung durch Schlacke und Mergel 20
— einer best. Wassermenge . . 311
— der Zylinderentnahmen 317, 322, 323
Durchlüftung nach Janert . . 285
— bei Naturland- u. Riesellandboden 285, 302
Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden 303
Dynamisch bedingtes Verhalten der leicht löslich. Phosphor- u. Kalisalze 341, 342

Ehrenberg, P.: Neue Fragen der Bodenstruktur 303, 304
Ehrke, G.: Untersuchungen über die Eisenfleckigkeit der Kartoffel 305, 324
Einsickerungsgeschwindigkeit. Ermittlung der —. . . . 306
Einzelkornanalysen bei Krümelanalysen 295
Einzelkornstruktur des Riesellandbodens u. Naturlandbodens 300, 302
Einzelkornzustand. Einfluß auf die physikalischen Bodeneigenschaften 314
Eisen. Anreicherung zweiwertigen — durch reduzierende Vorgänge im Boden 150
— als Ursache für das Auftreten der Urbarmachungskrankheit . 150
Eisenammoniumsalz als Nährlösung 141
Eisenaufnahme d. Fichtennadeln, Beeinflussung durch die Bodenreaktion 62, 63, 70, 71
—. Beinflussung durch Düngung 62, 63
— Beeinflussung durch Kalisalzdüngung 62, 63, 70, 71
Eisenfleckigkeit der Kartoffel 305, 306, 324
Eisengehalt des Bodens. Einfluß auf die Fe-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kalidüngung 63, 70, 71
— der Kupferschlacke 156
Eisenmangel. Einfluß auf Korn- und Strohertrag 142
—. Krankheitserscheinungen in Pflanzen mit — 145
—. Ursache für — 145
Eisensalze. Mildernde Wirkung auf die Chlorose 146
Eiweißbildung. Einfluß versch. Wachstumsfaktoren auf die — 194
Eiweißgehalt verschiedener Gründüngungspflanzen . . 378
Eiweißreiche, bodenstandige Pflanzen. Züchtung von — . . 383
Eiweißstickstoff. Trennung von Nichteiweißstickstoff durch Trichloressigsäure 194
Eiweißstoffe. Beeinflussung durch Salzsaure 144
Eiweiß, verdauliches. Notwendige Menge zur Milcherzeugung 377
— im Raps 380
— bei versch. Zwischenfrüchten . 377
Elbling. Versuche mit der Rebsorte — . . . 172, 173, 174, 175
Elektro-Ultra-Filtrationsmethode nach Koltgen . 74, 103, 104, 105, 107, 108, 116
Engler 306
Entbasung in der oberen Mineralbodenzone 77
Entzugs- und Grenzgehaltszahlen von Getreidearten 36
Erbse als Versuchspflanze . . . 342
Erdnuß als schwefelbedürftige Pflanze 232
Ernährungsverhältnisse des Waldes 72
Ernte. Kationengehalt der — im Verhältnis zur CO_2-Ausscheidung durch die Wurzeln . . . 368
Ernteergebnisse b. einem Haferversuch mit Kupferschlacke u. Kupfersulfat 159
— d. Lupinenversuche mit Kupferschlacke und $CuSO_4$ . . 164
Erntegewicht und CO_2-Ausscheidung im Rhythmus des tageszeitlichen Verlaufes . 358, 362, 363, 364, 368
Erntemehrarbeit. Verhaltnis zum Strohmehrertrag 208
Ernteuntersuchung der Gerste auf Basen und Sauren . 238, 239
Ertrag in Abhängigkeit samtlicher Wachstumsfaktoren 135
— und CO_2-Ausscheidung. Verhaltnis zwischen — . . 355, 361
—. Beeinflussung durch Stickstoffdüngung 130, 138
der russischen Zuckerrube . 134
— als Variable des Wachstumsfaktors 129
Ertragsfähigkeit eines Pflanzengenotyps 134

Ertragsformel nach Mitscherlich, Zusammenhang mit d. Massenwirkungsgesetz 134
Ertragsgleichung nach Mitscherlich 129, 135
— für Rübenwurzeln und Rübenblätter 138
Ertragssteigerung durch Abwasserverrieselung 257
— durch basische Schlackendünger 29
— durch Branntkalk . . 24, 25, 32
— durch gebrannten Dolomit . 25
— durch Gichtstaub. . . . 32, 33
— durch Hüttenkalk . . 12, 23, 32
— durch Kalkstein . . . 24, 25, 32
durch $CaSO_4$-Gaben auf heidemoorkranken Böden . . 140, 164
bei Phosphorsäuresteigerung 226
— durch Stickstoffdüngung . . 206
— . Vergl. bei Zusatz von gequollener und nicht gequollener Schlacke 22
Ertragszuwachs. Gesetz vom abnehmbaren — 208, 210
Essigsäure. Bildung bei der Permanganat-Oxydation . . 127
— an Stelle von Trichloressigsäure bei der Trennung von Eiweißstoffen 195
Extensivweizensorten 201
Extinktionskoeffizient bei der Huminsaurebestimmung . . . 118
Extrakt-Bitumina. Beeinflussung durch Salzsäure 147
Fällbarkeitsquotient 110
Fäulnis der organ. Substanz des Abwassers durch mangelhafte Sauerstoffzufuhr 258
Fäulnisversuch mit frischem u. getrocknetem Heidesand . . 148
Fallot, B.: Humus und Humifizierung 119, 128
Farbmessungen zur Unters. der Humusstoffe 118
Farbreaktion von Curcuma . . 178
Farb- u. Oxydationswerte von Bodenauszügen je Konzentrationseinheit C 123
Farbwert, relativer . . . 119, 123
—. Beziehung zw. Konzentration u. — von Huminsäurelösungen 128
Farbwertverhältnisse zur Charakterisierung der Huminsäuren 118
Fehér, D., u. M. Frank. Unters. über den periodischen Kreislauf des Stickstoffs, des Phosphors und des Kalis in Waldböden 352
Feigl, F.: Anal. Mikroanalyse von Säuren 193
Feinboden. Zur Charakterisierung des Naturbodens 306
Ferriammonsulfat als Nährlösung 141
Ferrochlorid. Reduktion von Nitrat mit — . . . 196, 197, 198
Ferrosulfat. Reduktion der Salpetersäure durch — 196
Fettgehalt im Schlamm . . . 258
Feuchtigkeit. Einfl. auf die Aktivität d. Bodenmikroorganismen 343
Feuchtigkeitsträger. Schwebestoffe im Abwasser als — . . 284
Feuchtigkeitsverteilung im Boden, dargestellt durch Wassergewichtskurven 274
Fichte als chlorophobe Pflanze 68, 71
—. Einfl. der Düngung auf das Wachstum der — 35, 36, 37, 39
—. Ernährungsversuche mit — . 75
—. Grenzzahl des Kaligehaltes für verschulte — 36
—. Kaliaufnahme bei der — . . 93
—. Kalibedürftigkeit der Fichte 83, 84, 114
—. Kaliwirkung auf die Erträge der — 83
—. Einfl. der Kalkung auf die Kaliaufnahme der — 85, 86, 95, 96
. Kalkphosphorsäurefaktor d. — 252
—. Nährstoffaufnahme aus versch. Bodenarten 95
—. Trockensubstanzerzeugung mit Fichte 83
—. Einfl. der Volldüngung auf die Erträge der — 84
—. Beeinfl. des Wachstums durch chlorhaltige Kalidüngemittel . 35
Fichtenhöhe bei Kalidüngung 37, 38, 39 ff.
Fichtennadeln. Einfl. der Bodenreaktion auf die Mn-Aufnahme der — 60, 61, 62, 70
—. Einfl. der Düngung auf die Al-Aufnahme der — 63, 64, 65, 66
—. Einfl. der Düngung auf die Eisenaufnahme der — 62, 63, 70, 71
—. Einfl. der Düngung auf die Kaliaufnahme der — 45, 46, 47, 49
—. Einfl. der Düngung auf Kalkaufnahme der — 55, 56, 57, 58, 70
—. Einfluß der Düngung auf die Mg-Aufnahme der — 58, 59, 70
—. Einfluß der Düngung auf die Mn-Aufnahme der — 60, 61, 62
—. Einfluß der Düngung auf die SiO_2-Aufnahme der — 66, 67, 68
—. Beeinfl. des Kaligehaltes durch Kalisalzdüngung 48, 49

Fichtennadeln. Einfluß des Kalkgehaltes im Boden auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 55, 70
—. Kalkgehalt der —. Beeinfl. durch Kalisalzdüngung 55, 56, 57, 58, 70
—. Beeinfl. des Phosphorgehaltes durch Kalisalze . . . 53, 54, 55
—. Stickstoffaufnahme der —. Beeinfl. durch Düngung . . 50ff.
Fichtensämlinge. Kalidüngungsversuch mit — 35, 36
Fichtenverluste durch chlorhaltige Kalidüngemittel 71
—. Beeinfl. durch Düngung . 43, 69
—. Beeinflussung durch Kainit 44, 45
—. Beeinflussung durch 40%iges Kalisalz 44, 45
—. Beeinflussung durch Niederschlagsmangel . . . 43, 44, 45
—. Beeinfl. durch die Wasserversorgung des Bodens . . . 43, 69
—. Beeinfl. durch Witterungsverhältnisse 43
Fichtenwachstum. Beeinfl. durch Chlorionen 68, 69
—. Beeinflussung durch Kainitdüngung 39, 41, 42, 43
— bei kaliarmen Böden . . 42, 43
—. Einfluß der Kalidüngung auf das — 37, 42
—. Einfl. von 40%igem Kalisalz bei chlorarmen Böden auf das — 40, 41
Fichtenzuwächse bei Kalidüng. 38, 39, 40
Filtratfärbung bei Bodenausschüttlung 153
Filtrationswiderstand. Bestimmung des — . . . 310, 311, 314
Fischer-Donat: Porengrößenermittlung nach — 266
Floridaphosphat, seine Wirkung auf saure Mineralböden . . . 249
Fluorsalze. Düngerwirk. von — 232
Förster: Reduktion mit Thiosulfat 194
Formiat als störender Begleitstoff bei der Borbestimmung 186, 187, 193
Forstwirtschaft. Chemische Melioration in der — 73
Freckmann, W., u. H. Baumann: Zu den Grundfragen des Wasserhaushaltes im Boden 335, 340
Friedrich, W.: Messung des Wasserhaushaltes im Boden . 324
Frischgewicht der Lupinenernte bei Versuchen mit Kupferschlacke und $CuSO_4$ 164
— bei Versuchen mit Kupferschlacke 159, 160
Frischmasse bei versch. Gründüngungspflanzen 377
Fulvosäuren . 121, 124, 125, 127
— in den Bodenauszügen bei Humusbestimmungen 122
Fulvosäureanteile in Braunerden 125
— im Podsol 125
— in Schwarzerden 125
— im Verhältnis zur Huminsäure in Bodenextrakten 125
Fulvosäurelösung. Permanganatzahl in der — 125
Futterleguminosen als Vorfrucht 200
Futternutzung der im Zwischenfruchtbau angebauten Pflanzen 371
Futterpflanzen. Verwendung als Gründüngung 370
Gare, günstige Beeinfl. durch Hackfrüchte 224
Garezustand des Bodens auf Grund der Einwirkung versch. Vorfrüchte 213
Gasaustausch im Rieselland, Wichtigkeit des — 269
Genotypisches Wesensmerkmal 133
Geochemie des Bors 193
Gerlach. Über die Düngung mit Schwefel 242
Gerste. Gehalt der Asche an Nährstoffen 240
—. Düngewirkung von Kalk- u. Magnesiumsalzen zu — . . . 237
—. Einfl. der Sulfatdüngung auf den Kornertrag der — . . . 241
— als Versuchspflanze 2, 5, 6, 13, 24, 25, 29, 33, 343
Gesamtbasengehalt im Hüttenkalk 12
Gesamtstickstoffbestimmung in Gegenwart größerer Nitratmengen 194
— mit Phenolschwefelsäure . . 197
Gesteinsmehl. Borbestimmung im — 184
Getreide. Kalibedürftigkeit von — 35
— als Vorfrucht 200, 212, 213, 214, 220, 224
Getreidearten. Entzugs- und Grenzgehaltszahlen von — . . 36
Getreidekorn. Gehalt an SO_4 . 238
Gichtstaub als Abfallprodukt beim Hochofenprozeß . . . 31
—. Gehalt an Alkali 31
—. Gehalt an Cyanid 33
—. Düngewirkung von — . . 31, 34
—. Ertragssteigerung durch — 32, 33
—. Kalkgehalt des — . . . 31, 33
—. Keimungsverzögerung durch — 33
—. Neutralisationswirkung von — 32
— als Quelle für Spurenelemente 34
—. Zusammensetzung des — . 31
Giftwirkung des Kupfers . . . 140
Gipsdüngung. Bedeutung der — 231, 236, 242

Gipsdüngung. Einfluß auf die Bodenreaktion 231
—. Vor- und Nachteile der — . 242
Gipswirkung auf Grund von Austauschvorgängen 232
— auf Grund von Umsetzungen mit den Bodennährstoffen . . 232
Giesecke, F.: Benetzbarkeit der Böden 304, 306
—. Bodenbeurteilung u. Probenahme an Ort u. Stelle . . . 324
Gießereiroheisenschlacke. Kalkgehalt der — 11
Gießwasser. Einfluß auf die Urbarmachungskrankheit . . . 140
Glasanalyse. Schnellmethode zur — 194
Gliedin. Giftstoff im Heidehumus 147
—. Zersetzung durch Erhitzen . 147
Glühverlust bei Riesel- und Naturlandboden 301
Goldschmidt, V. M.: Zur Geochemie des Bors 193
Gooch, F. A.: Gravimetr. Borbestimmung nach — 177, 178, 193
Gottschall. Kolorimetrische Borbestimmung nach — 178, 182, 193, 194
Goy. Elektrometr. Bodentitration 235, 242
Gradmann, H.: Untersuchungen über die Wasserverhältnisse des Bodens als Grundlage des Pflanzenwachstums 312, 325
Gravimetrische Borbestimmung nach Gooch 177, 178
— nach Rosenbladt 177
— nach Thaddeeff 177
Gründigkeit des Bodens als Maßstab für die Güte 73
Gründüngung. Ausnutzung durch die Kartoffel 376
— in Form von gelben u. blauen Lupinen 382
— mit Futterpflanzen 370
—. Stickstoffleistung der . . 382
Gründüngungspflanzen. Eiweißgehalt versch. — 378
—. Stickstoffleistung versch. — . 372
—. Wurzelentwicklung verschiedener — im Verhältnis zur oberirdischen Masse . . 375, 376
Gründüngungsversuche . . 370 ff.
Grünfutterpflanzen. Gesamtleistung der — 378
Grünmassenerträge verschiedener Zwischenfruchtpflanzen . 377
Grunddüngung. Ammonsulfat als — 33
—. Kalimagnesia als . . . 33
—. Kalknitrophoska als 31
—. Kornerträge bei — 202, 203, 212, 214, 218
—. Nitrophoska als — . 13, 24, 32
—. Stroherträge bei — . . 204, 205
—. Superphosphat als — . . . 33
— bei Weizenanbauversuchen . 201
Grunderträge beim Weizenbau, Beziehungen zu den Mehrerträgen 205, 206, 222
Grenzverbrauch von Stickstoff 132, 137
Grenzzahlen für die Düngerbedürftigkeit 111
— von Getreidearten 36
— des Kaligehaltes 36
Gütemerkmale, chem.-biolog., Prüfung der — 73
— der oberen Waldbodenschicht 78
— der Waldböden 73
Gutedel. Versuche mit der Rebsorte — 175
Hackfrüchte. Düngung mit Stallmist 212
—. Einfl. auf die Gare d. Bodens 224
— als Vorfrucht 200, 212, 213, 220, 224
Hackmann, G.: Phosphorsäuregehalt von Waldböden u. Fichtenwachstum 251, 256
Hämatitschlacke. Kalkgehalt d. 11
Hafer. Phosphorsäuresteigerungsversuch zu — 226
— als Versuchspflanze auf Rieselland 260
Hager. Indirekte Düngung . . 242
Haldenschlacke. Düngungsvers. mit — 27, 28
— als Kalkdünger . . 27, 28, 30, 34
—. Einfl. auf Kornbildung . . . 29
—. Gehalt an Magnesium . . 27, 28
Handelsdüngerstickstoff. Verwertung des — . . 213, 214, 216
Harterdige Rohphosphate . . 249
Heideboden. Parallelität zur Stärke der Urbarmachungskrankheit u. Humusgehalt von — . . . 147
Heidegebiete, Mangelböden der, Wirkung der Hochofenschlacke auf — 157
Heidehumus. Der Giftstoff Gliedin im — als Ursache der Urbarmachungskrankheit . . . 147
—, stark zersetzter als Träger der Urbarmachungskrankheit . . 147
Heidemoorkrankheit. Urbarmachungskrankheit auf frischen u. getrocknetem Boden . . . 149
—. Auftreten bei mit HCl behand. Humussäure . . . 147, 154, 155
—. Beeinfl. durch Gießwasser . 140
—. Eisen als Ursache der — . 150

Heidemoorkrankheit. Erzeugung in absolut Cu-freien Wasserkulturversuchen 155
—. Der Giftstoff Gliedin im Heidehumus als Ursache der — . 147
—. Kupfermangel als Ursache der — auf Heidesandböden 140, 141, 155, 156, 168
—, mikrobielle Einflüsse als Krankheitsursache 140
— auf Heidesand, Parallelität zur Stärke der Krankheit und Humusgehalt 147
—, physiol. Störungen als Ursache der — 140
—, verursacht durch Sauerstoffmangel in der Nährlösung . . 140
—. Störung der generativen Entwicklung beim Auftreten der — 163
—, unzureichende Wasserversorgung als Ursache der — . . 140
—. Ursache der — 139
—. Verhinderung der — . 148, 150
—. Vermeidung durch Erhitzen des Bodens auf 100° 147
Heidesand, durchlüfteter, urbarmachungskranker — . . 150, 152
—. Fäulnisversuch mit frischem u. getrocknetem — 148
—, frischer urbarmachungskranker — 150, 152, 153
—, getrockneter . . 150, 152, 153
—. Kultivierung des — 158
—. Kupferbest. in urbarmachungskrankem — 151
—. Kupferfestlegung durch Humus in krankem — 141, 143, 147, 153
—. Untersuchung von krankem — 140, 141
—. Urbarmachungskrankheit auf frischem u. getrocknetem — . 149
— für Versuchszwecke 141
Heinrich, F.: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden N.-Deutschlands 340, 347
Hemizellulosen. Hydrolyse durch Salzsäure 144, 147
Herz- u. Trockenfäule. Heilung mit Bor 177
Heu- und Sauerwurm. Bekämpfung durch As-haltige Spritzmittel 169, 170
Hey, volumetrische Bodenprobenentnahme nach — 306, 326, 337, 338, 339, 340
Hissink, D. J.: Unters. über die Wiedergewinnungsmöglichkeit der Durchlässigkeitszahlen nach Kopecky 315, 325
Hochmoorboden. Beschaffenheit des Humus der — 141
—. Gleichwertigkeit best. weicherdiger Rohphosphate mit Thomasmehl auf sauren — . . . 249
—. Kupfergehalt im — 143
— als Versuchsboden . . 2, 3, 4, 5
—. Wirkung von Rohphosphaten auf — 255
Hochofenschlacke saure, Analysen von — 13, 28
—. Bedeutung des CaS in der — 34
—. Beziehungen zur Quellung u. Wasseraufnahme 22
—. Düngewirkung von gequollener — 19
—. Einfl. auf Pflanzenwachstum u. Futterqualität 157
—. Ersatz als Kupfersulfat . . 156
—, granulierte 20
—. Neutralisationswirkung verschiedener — 22
—. Quellungsvermögen der — . 20
—. Stückenschlacke 20
—. Unterschiedliche Zusammensetzung der — 157
—. Volumenvermehrung durch hydraulische Beschaffenheit . 20
—. Wirkung auf die Durchlaufgeschwindigkeit 20
—. Wirkung auf Mangelböden der Heidegebiete . . . 157, 168
—, zerrieselte 20
—. Zersetzung im Ackerboden . 23
Hock, A.: Bez. zw. Konz. u. Farbwerten von Huminsäurelösungen 128
Hönig, M.: Volumetrische Borbestimmung nach — . . 178, 193
Hohenbockaer Sand, Reinigung von Kupferspuren . . . 141, 142
Holdack: Neue Anschauungen in der Bodenbearbeitung . . 324
Holzarten. Aneignungsvermögen für schwerlösliche Phosphate . 251
—. Aufschließung der Rohphosphate durch versch. — . . . 252
—. Beeinfl. des Ertrages durch Phosphorsäuredüngung . . . 253
— Einfluß der Bodenreaktion auf die Wuchsleistung der — . . 73
—. Erträge bei Versuchen mit versch. Holzarten 80
—. Vegetationsversuch 74
—. Kalibedürftigkeit forstl. — . 35
Homozyote Pflanzen 133
Hudig, I.: Bemerkungen über Chilesalpeter in Beziehung zur Borfrage 193
Hülsenfrüchte. Einfluß von Kaliphosphatdüngung auf die Trokkenmasse bei — . . . . . 380 ff.
—. Milchleistung bei Fütterung mit — 379

Hülsenfrüchte. Stickstoffleistung versch. — 370
Hülsenzahl der Lupinenernte bei Versuchen mit Kupferschlacke 164
Hüttenkalk. Abhängigkeit der Wirkung von der Zeit der Gabe 23, 26
—. Bindungsfestigkeit des Kalkes in — 12, 15, 17, 18, 34
—. Wirkung auf den Boden . . 1, 6
—. Einfluß auf Bodenreaktion . 8, 9
—. Düngerwirkung von — . . 11
—. Ertragssteigerung durch — 12, 23, 32
—. Gesamtbasengehalt im — . 12
— als Kalkdünger . . . 11, 12ff., 34
—. Erhöhung des Kalkgehaltes durch Branntkalk 17
—. Kalkreiche im Vergleich zu kalkärmeren 11
—. Gehalt an Kieselsäure . . 16, 26
—. Wirkung auf den Kornertrag 14, 15
. Magnesiumgehalt im . . 12, 13
—. Mangangehalt im — . . . 16
—. Neutralisationswirkung des — 1ff., 12, 17, 18, 19, 26
—. Reaktionsändernde Wirkung verschiedener — 17, 18
—. Schädlichkeit des Kalziumsulfids im — 1, 4, 5, 6, 7
—. Wirkung auf den Strohertrag 14, 15, 26, 29
—. Gehalt an Tonerde . . . 16, 26
—. Umsetzung des Kalziumsulfids im — 6, 7
—. Wirkungsreihe der — . . . 15
—. Einfluß auf die Wurzelausbildung 5
Humifizierte Substanz. Ermittlung der — nach Springer . . 315
Humifizierung 128
Huminsäure. Anteile im Verhältnis zur Huminsäure in Bodenextrakten 125
—. Hymatomelansäuren als Teilkomponente der — 126
—. Reinigung der — 144
Huminsäurebestimmung mittels Oxydimetrie . . . . . . 118ff.
Huminsäureform 118, 119
Huminsäuregehalt. Bestimmung mit $KMnO_4$ 128
—. Permanganatwerte pro Konzentrationseinheit für — 124, 125, 127
Huminsäurelösung. Absorptionswert von — 118
—. Beziehungen zw. Konzentration und Farbwerten von — . . . 128
—. Definition durch Farbwertverh. und Konzentration 118
—. Durchlässigkeitswert der — . 118
—. Permanganatzahl in der — . 125
Huminsäurequotient 119
Huminsäurewert 118, 119
Humoser Lehm als Versuchsboden 200
Humoser Sand als Versuchsboden 200
Humus. Einfluß auf die Wirkung des Bodenkupfers 141
— der Hochmoorböden 141
—. Kolloideigenschaften des — zur Festlegung von Kupfer 141, 143, 146, 153
Humusauflage. Phosphorsäureaufschließungsvermögen der sauren 250
Humusbestimmung . . . 128, 344
— nach Alten mit Chromschwefelsäure 120
—. C-Faktor bei der — . . 126, 127
— nach Simon 120
Humusbildung. Einfluß auf die Wuchsleistung der Holzarten . 77
— verursacht durch Podsolierung 77
Humusergänzung durch Schlamm 258
Humusgehalt des Bodens, Parallelität zur Stärke der Urbarmachungskrankheit 147
Humuslösungen. Oxydation von — 127
Humussäure. Adsorptionsvermögen der mit HCl behandelten — 146, 147
— mit HCl behandelt. Auftreten der Urbarmachungskrankheit bei Pflanzen mit — . . 145, 154
— nach Merk 143
Humussol als Schutzkolloid im Boden 153
Humusstoffe. Beurteilung der charakteristischen — 128
—. Sorptionsmöglichkeiten durch 146
—. Störung des kolloiden Gefüges der — durch Erhitzen . . . 154
—. Unters. durch Farbmessungen 118
—. Zugehörigkeit zu hydrophilen Kolloiden 153
—. Zusammenhang zwischen Konzentration der — und $KMnO_4$-Verbrauch 127
Humussubstanz in der Ackererde. Best. der — 128
Humusteilchen als Wasserträger 270
Humusversorgung. Bedeutung des Strohs für die — 205
Humuszersetzung. Beeinfl. durch Kalk 110
Hydratation 287
— von Hochofenschlacke . . 19, 20

Hydratationsenergie als Ursache der unterschiedlichen Porengrößen des Bodens . . 267
Hydrophile Kolloide. Humusstoffe als 153
—. Schutzwirkung der — . . . 153
— Übergang in hydrophobe Kolloide durch Wasserentzug . . 154
Hydrophiler Typus. Rieselboden als — 267
Hydrophobe Kolloide. Bildung aus hydrophilen Kolloiden durch Wasserentzug 154
Hydrolyse der Hemizellulosen durch Salzsäure 144
Hydrol. Azidität bei verschied. Schlacken 22
Hygroskopizität des Bodens . 315
Hymatomelansäuren. Teilkomponente der Huminsäuren . . 126
Inaktivierung giftiger organ. Bestandteile als Ursache für das Nichtauftreten der Heidemoorkrankheit 150, 154
Indikatoren bei der Borbestimmung 182, 192
—. Bromthymolblau 245
—. Methylorange 246
Inkarnatklee als Gründüngungspflanze 283, 384
—. Grünmassenerträge beim — 377
—. Milchleistung bei Fütterung mit — 379
—. Wert der Wirkung auf die Nachfrucht . . 371, 374, 376
—. Stickstoffleistung des — . . 370
—. Wurzelanteil bei — . . 375, 376
—-Wurzeldüngung. Bedeutung der — 283, 384
Ioneneffekte als ausschlaggebende Faktoren für die Verdickung der Wasserfilme . . 283
Itallie, B.: Magnesiummangel n. Ionenverh. in Getreidepfl. 178, 219
Janert, H.: Durchlassigkeitszahlen nach — 279, 282, 284, 285 302, 312
—. Einteilung der Bodenarten auf Grund der Benetzungswärmen 292
—. Mischmethode nach —. Zur Bestimmung der Benetzungswärme 291
—. Neue Methoden zur Bestimmung der wichtigsten physikalischen Grundkonstanten des Bodens 340
—. Unters. über die Benetzungswärme des Bodens 304
—. Volumetrische Bodenprobenentnahme nach — 326, 329, 337, 338, 339, 340
—. Wasserdurchlässigkeitszahlen nach — 279, 282, 284, 285, 302
Jannasch, P.: Volumetr. Borbestimmung nach — . . . 178, 193
Jessen, W.: Versuche uber die Nährstoffaufnahme verschiedener Holzarten 117
—. Wirkung der Dungung bei Waldböden 72, 117
—. Wuchsleistung und Nahrstoffaufnahme in Abhangigkeit von der Bodenreaktion 225
Jodlbauer. Reduktion mit Zinkstaub nach — 194
Kainit. Einfluß auf die Aluminiumaufnahme der Fichtennadeln 64, 65, 66, 71
—. Einfluß auf die Fe-Aufnahme der Fichtennadeln 62, 63, 70, 71
—. Einfluß auf die Fichtenverluste 44, 45, 69
—. Einfluß auf Fichtenwachstum 39, 41, 42
—. Einfluß auf das Fichtenwachstum auf phosphorsaurearmen Boden 41, 42, 43
—. Einfluß auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln . . . 48, 49
—. Einfluß auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 55, 56, 57, 58, 70
—. Einfluß auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln 58, 59
—. Einfluß auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln . 60, 61, 62, 70
—. Einfluß auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln . 50, 51, 52, 53
—. Einfluß auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln . 53, 54, 55
—. Einfluß auf Wuchsleistung und Nahrstoffaufnahme verschulter Fichtensämlinge 36, 68, 69
Kakaobutter zur Abdichtung . 353
Kali. Ausnutzung des — bei verschied. Holz- und Bodenarten 97
—. Einfluß auf die Ertrage bei der Lärche 84
—. Loslichkeit im Boden 103, 104, 116
— als Voraussetzung für eine rationelle Verwertung des assimilierten CO_2 zum Aufbau organischer Substanz 360, 361, 366, 367, 368, 369
—. Verdrängung absorbierten — durch Wasserdampf 243
Kaliansprüche von Fichtensämlingen 35
Kaliaufnahme der Fichtennadeln, Abhängigkeit von der Kaliversorgung des Bodens 69
—. Beeinfl. durch Bodenreaktion 47

Kaliaufnahme. Beeinfl. durch Kalkgehalt d. Bodens 47, 50, 95, 96
— bei phosphorsäurearmen Böden 49
—. Versch. Holzarten unter dem Einfluß von Kalk 98
— der Kiefer bei Volldüngung 91, 92, 93
— der Lärche 88, 89, 90
—. Einfluß der Volldüngung auf die — der Fichte 96
Kaliausnutzung versch. Böden bei Kalkung 97
Kalibedürftigkeit auf Basalt . 113
— auf Bausandstein 113
— versch. Böden, Bestimmung mit versch. Methoden . . . 104, 113
— von verschulten Fichten 35, 84, 114
— von Getreide 35
— versch. Holzarten, Beeinfl. durch Kalkung 35, 84
— der Kiefer 84
— der Lärche 84, 114
— von Quarzit 98
— des Muschelkalkes 98
— von Tertiärsand 97
Kalibestimmung . . 102, 103, 247
— nach der Ammonchloridmethode 116
— nach der Aspergillusmethode 350
— im Bodenauszug 74
— nach der Köttgenschen Elektro-Ultrafiltrationsmethode . . . 116
— bei Nährstoffversuchen mit versch. Holzarten 88
Kalidüngung. Beziehung zu austauschbarem Aluminium . . . 113
—. Chlorgehalt in — 40
— chlorhaltige; Einfl. auf das Wachstum der Fichte . . . 35
—. Einfl. auf die CO_2-Ausscheidung 358, 359, 368, 369
—. Einfl. auf das Fichtenwachstum 36, 37 ff.
—. Einfl. auf den Mehrertrag an Kali 105, 113
—. Wuchshemmung auf Quarzit infolge — 107
—. Einfl. auf die Wuchsleistung 112
Kalientzug von jungen Fichten 35
Kaligehalt des Bodens, Einfl. auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln 46, 47
—, Einfl. auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 55, 56, 57, 58, 76
—, Einfl. auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln . . 58, 59, 70
—, Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln 61, 70
—, Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln . . . 54, 55, 70
—, Einfl. auf die SiO_2-Aufnahme der Fichtennadeln 66, 67, 68, 71
— der Fichtennadeln, Beeinfl. durch Düngung . . . 45, 46, 47
— —, Beeinfl. durch Kalisalze 48, 49
—. Grenzzahl des — 36
— der Lärche, Beeinfl. durch Kalkung 91, 98
— bei der Lärche bei Volldüngung 91, 93
Kali-Kalziumverhältnis in der Pflanze, Einfl. d. Chloranreicherung des Bodens auf das Engerwerden des — 57, 85
— —, Einfluß der Kalkaufnahme der Fichtennadeln auf d. Engerwerden des 57, 58
Kalimagnesia als Grunddüngg. 33, 373
Kalimangel. Kalziumaufnahme durch die Pflanzen bei — . . 367
Kali-Nachlieferung nach Köttgen 116
Kaliphosphatdüngung, Einfl. auf den Trockenmassenertrag bei Hülsenfrüchten u. Kleearten 380 ff.
Kalisalz 40%ig als Grunddünger 260, 380
—. Einfl. auf die Al-Aufnahme der Fichtennadeln . . . 64, 65, 66, 71
—. Einfl. auf die Fe-Aufnahme der Fichtennadeln 62, 63, 70, 71
—. Einfl. auf die Fichtenverluste 44, 45, 69
—. Einfl. auf das Fichtenwachstum auf phosphorsäurearmem Boden . . 40, 41, 42, 43, 68, 69
—. Einfl. auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln 48, 49
—. Einfl. auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 56, 57, 58, 70
—. Einfl. auf die Mg-Aufnahme der Fichtennadeln . . . 58, 59
—. Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln 60, 61, 62, 70
—. Einfl. auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln . . 50, 51, 52, 53
—. Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 53, 54, 55
—. Einfl. auf die Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme verschulter Fichtensämlinge . . 36
Kalisalzdüngung. Einfl. auf die Kali-Aufnahme der Fichtennadeln 69
Kalisalze. Mobilisierung durch Mikroben 344, 345
—. Schwefelversorgung des Bodens durch — 231
—, leichtlösl. Zusammenhang mit Bakterientätigkeit 348

Kalischwäche des Tertiärsandes 105
Kaliverbindungen. Kreislaufprobleme der leichtlöslichen — 341, 342
Kaliversorgung des Bodens 35, 41, 52
—. Verbesserung durch entspr. Bodengare 351
—. Einfl. auf die Wuchsleistung junger Fichten 68, 69
Kaliwirkung auf die Erträge versch. Holzarten 83
Kaliumborfluorid. Bestimmung des Bor als — 177
Kaliumchlorid zum Ausschütteln kranken Bodens 152, 153
— als Grunddüngung . . 226, 229
— als Nährlösung 141
Kaliumnitrat als Nährlösung . 141
Kaliumpermanganat zur Oxydimetrie 119, 120, 127
—-Titration in saurem Medium 119
Kaliumsilikat als Nährlösung . 141
Kaliumsulfat als Grunddüngung 158, 357, 362
—. Selengemisch zum Aufschluß 197
Kalk. Basisch wirksamer — als Düngemittel 236, 242
—. Bestimmung von — im Bodenauszug 74, 102, 103
—. Löslichkeit des — im Boden 106, 107
—. Wirkung auf die Bodenreaktion 85, 110
— als Bodenverbesserungsmittel 98
—. Düngung in Form von Sulfat 235
— als Düngemittel, Verwendung in basischer Form 231
—. Wirkung des — im Hüttenkalk 11, 15, 17, 18, 34
—. Wirkung auf die Humuszersetzung 110
—. Einfl. auf die Kaliaufnahme versch. Holzarten 98
—. Einfl. auf die Mn-Aufnahmen der Fichtennadeln . 60, 61, 62, 70
—. Seine Wirkung als Nährstoff in den Blattorganen der Holzarten 99
—. Zur Nährstoffversorgung . . 98
—. Einfl. auf den Phosphorsäuregehalt in der Kiefer . . 99, 100
—. Einfl. auf den Phosphorsäuregehalt der Lärche . . . 99, 100
—. Physiol. saurer Charakter des — 235
—. Einfl. auf die Quellfähigkeit der Schlacke 21
—. Einfl. auf die Wurzelausbildung 5
—. Kali-Gegensätzlichkeit bei gekalktem Boden . . . 87, 98, 103
—, Kohlensaurer. Neutralisationswirkung im Boden 7, 9
Kalk-Phosphorsäurefaktor . . 249
Kalkammonsalpeter als Stickstoffdünger 201, 260, 372, 376, 379
Kalkaufnahme d. Fichtennadeln. Beeinflussung durch Düngung 55, 56, 57, 58, 70
—. Beeinflussung durch Kalisalzdüngung . . . 55, 56, 57, 58, 70
—. Einfl. auf das Engerwerden des K_2O:CaO-Verhältn. in der Pflanze 57, 58
—. Beeinfl. durch P-Gehalt des Bodens 55, 56, 57, 58, 70
Kalkbedürftigkeit versch. Holzarten 99
Kalkbestimmung in der Erntesubstanz . . 238, 239, 240, 245
— nach Meyer 8, 9, 10
— bei Nährstoffvers. mit versch. Holzarten 88
Kalkbindung in Hüttenkalken . 18
Kalkdünger 13, 17, 26, 28
—. Branntkalk als — 14
—. Gichtstaub als — 31
—. Haldenschlacke . . . 30, 34
—. Hüttenkalk als 11
—. Kalkstein als 14
—. Kohlensaurer Kalk als . . . 144
—. Saure Schlacken als — . 30, 31
Kalkdüngung zur Beseitigung der Bodenazidität 249
—. Löslichkeitsvermindernde Wirkung auf schwerl. Phosphate 250
Kalkentzug durch Lärche . . . 107
Kalkgehalt der Asche von Nadel- und Laubhölzern 252
— des Bodens 38, 50
—. Beeinfl. der Kalidungewirkung auf das Fichtenwachstum 42, 43, 47
—. Einfl. auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 55, 70
—. Einfl. auf die Wuchsleistung junger Fichten 68, 69
— des Gichtstaubes 31, 33
— der Gießereiroheisenschlacke 11
— der Hämatitschlacke 11
versch. Holzarten bei Kalkung 99
— in Hüttenkalken . 13, 15, 16, 17, 18, 34
— der Kupferschlacke 156
— der Pflanze als Maßstab für die Nährstoffwirkung 85
— der Stahleisenschlacke . . . 11
— der Thomasroheisenschlacken 11
— der Weinbergsböden bei Rebversuchen 172, 173, 174

Kalkhaltiger Lehm. Bodenprobeentnahme auf 333, 334, 335, 337
Kalknitrophoska als Grunddüngung 31
Kalksalpeter als Stickstoffdünger 201
Kalksalze. Düngewirkung zu Gerste 237, 238
Kalkstein als Kalkdünger 14, 17, 34
—. Wirkung auf Ertragssteigerung 24, 25, 26, 32
Kalksteinmehl. Boranalysen im — 178, 184
Kalkung des Bodens als Grundlage für Düngungsmaßnahmen 250
—. Beseitigung der sauren Bodenreaktion durch — 86, 250, 251
—. Einfl. auf die Kaliausnutzung versch. Böden 97
—. Einfl. auf die Kaliaufnahme der Fichte 95, 96
—. Einfl. auf das Fichtenwachstum 72, 83
—. Einfl. auf die Kalibedürftigkeit versch. Holzarten . . . 84
—. Einfl. auf die Kaliaufnahme der Kiefer 93, 97
—. Einfl. auf den Kaligehalt der Lärche 91
—. Einfl. auf den Kalkgehalt versch. Holzarten 99
—. Einfl. auf die Nährstoffaufnahme aus versch. Bodenarten 89
—. Einfl. auf die Mehraufnahme an Phosphorsäure 109
—. Einfl. auf die Phosphorsäureaufnahme der Kiefer 100
—. Einfl. auf die Phosphorsäureaufnahme der Lärche . . . 100
—. Einfl. auf die Wirkung der Rohphosphate . . 252, 253, 254
—. Einfl. auf die Wuchsleistung 85
Kalkverbindungen. Anwendung als Düngemittel 231
Kalkversorgung der Böden 231, 232
Kalkwasser zur Regulierung des pH 142
Kalkwirkung. Beeinfl. durch die Bodenreaktion 82, 83
— bei der Fichte 85, 86
— bei versch. Holzarten auf versch. Böden 83, 86
— der Hüttenkalke 16
— bei der Kiefer 85, 86
— bei der Lärche 85, 86
Kalkzustand des Bodens 234, 235
Kalorimeter. Zur Bestimmung der Benetzungswärme . . . 291
Kalzium, absorbiertes. Bestimmung in gipshaltigen Böden 246
—. Aufnahme durch die Pflanzen bei Kalimangel 367
—. Bestimmung von austauschfähigem — 248
—. Verdrängung des absorbierten — aus dem Bodenkomplex mit Wasserdampf . . . 243, 246, 247
Kalziumkarbonat. Einfl. auf die Azidität 234
—. Basenbedarf des Bodens bei Düngung mit — . . . 235, 236
—. Einfl. auf Boden und Pflanze 240
— als Düngemittel auf saurem Boden, Ersatz durch $CaSO_4$ 231
Kalziumchlorid. Zum Ausschütteln kranken Bodens . . 152, 153
Kalziumgehalt. Bestimmung n. Passon 158
Kalziumnitrat als Nährlösung 357, 362
Kalziumphosphat als Nährlösung 158, 357, 362
—. Herstellung von — 141
—. P_2O_5-Aufnahme kalkliebender Pflanzen aus schwerlösl. — 249
Kalkphosphorsäurefaktor 251, 252, 254
Kalziumsalz. Düngewirkung des — 236
Kalziumsulfat. Basenbedarf des Bodens bei Düngung mit — 235, 236, 240, 241
—. Einfluß auf Boden u. Pflanze 240
—. Chem. Einfluß auf den Reaktionszustand des Bodens 233, 234
— als Düngemittel an Stelle von $CaCO_3$ auf saurem Boden . . 231
—-**Düngung.** Phosphorsäuregehalt in der Gerste bei — 238, 239
— als physiol. saures Düngemittel 232, 236
Kalziumsulfid. Bedeutung in der Hochofenschlacke 34
— im Hüttenkalk, Schädlichkeit des — 1, 4, 5, 6
— im Hüttenkalk, Umsetzung des — 1, 6, 7
Kalzium-Verbindung. Wirkung auf Boden und Pflanze . . 231 ff.
Kapillare Wasseraufnahme. Zeitlicher Verlauf der — 307, 308, 319, 321, 322
— bei Zylinder-Entnahmen 307, 308, 316, 317, 319
Kapillarer Wasseraufstieg kurvenmäßig dargestellt . . 314, 320
Kapillarsystem. Einteilung nach Sekera 266
Kappen, H.: Bodenazidität . . 242
—. Vers. mit Hochofenschlacke 34

Kappen, K.: Verwertbarkeit von Rohphosphaten auf sauren Mineralböden . . 249, 250, 255
Karbonatdüngung. Einfl. auf den Mg-Gehalt in der Asche . . 240
Karbonate als störende Bestandteile bei der Borbestimmung 179, 186
Karbonatreiche Böden, Verhinderung der As-Aufnahme aus dem Boden 176
Karminrot. Zur kolorimetr. Borbestimmung 178
Kartoffel als Versuchsfrucht . . 11
— als Versuchspflanze auf Rieselland 260, 261
. Ausnutzung der Gründüngung durch die — 376
—. Eisenfleckigkeit der — 305, 306
— als Nachfrucht 372, 381
—. Stickstoff-Leistung verschied. Gründungspflanzen, ausgedr. in kg N/ha — 373, 374
— als Vorfrucht 200
Kartoffelbau. Leistung des Stickstoffs im — 198
Kartoffelertrag bei Grünmassendüngung 379
— nach Wurzelgründüngung . . 376
Kationen. Verdrängung der absorbierten — aus den Bodenkolloiden 243
— und Wasserhaushalt d. Bodens 370
Kationengehalt der Ernte, Verhältnis zu CO_2-Ausscheidung der Wurzeln . 365, 366, 367, 368
Keimpflanzenmethode nach Neubauer 74, 177
Keimungsverzögerung b. Gichtstaubdüngung 33
Kornnährstoffverlust bei Abwasservorreinigung 258
Kiefer 78, 80
—. Ernährungsversuche mit — . 75
—. Kaliaufnahme der — 91, 92, 93
—. Kalidüngungsbedürftigkeit der — 84, 114
—. Kaligehalt der — 98
—. Kalkgehalt der — aus Muschelkalk 98
—. Kalkphosphorsäurefaktor d. — 252
—. Einfl. von Kalk auf die Phosphorsäureaufnahme der — 99, 100
—. Einfl. der Kalkung auf die Kaliaufnahme der — 93
—. Kalkwirkung der — auf Lößlehm 78, 85, 86
—. Nährstoffaufnahme aus versch. Böden 92, 93, 94, 95
—. Nährstoffbedürftigkeit für alle normal wichtigen Nährstoffe 82, 83
—. Nährstoffentzug durch die — 108
—. Phosphorsäureaufnahme bei Kalkung 100
—. Phosphorsaurebedürftigkeit der — 87, 99, 100
—. Stickstoffausnutzung durch die — 101
—. Stickstoffbedürftigkeit der — 87, 88
—. Trockensubstanzerzeugung bei Versuchen mit — 81
—. Einfluß der Volldüngung auf die Erträge der — 84, 93
Kieselsäureaufnahme der Fichtennadeln. Beeinfl. durch die Bodenreaktion . . 66, 67, 68, 71
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Dungung . . . 66, 67, 68
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch den K-Gehalt des Bodens 66, 67, 68, 71
Kieselsäuregehalt des Bodens. Einfl. auf die SiO_2-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kalidüngung 66, 67, 68, 71
— in saurer Hochofenschlacke . 28
— im Hüttenkalk 16, 26
— der Kupferschlacke 156
Kjeldahl: Stickstoffbestimmung nach — 116, 195 196
Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren 258
Klee als Vorfrucht 200, 212, 213, 214
Kleearten als Gründüngungspflanzen 383
—. Einfl. von Kaliphosphatdüng. auf die Trockenmasse bei 380 ff.
Kleebrache als Vorfrucht . . . 200
Klimatische Einflusse auf die Stickstoff-Verwertung . . 199, 223
Knippenberg, E: Beitrag zur Humusbestimmung 128
—. Bestimmung von N-Fraktionen 198
Knollenertrag der Kartoffel bei Anwendung versch. Gründüngungspflanzen . 372, 373, 374, 375
Koagulationszustand. Feststellung des natürlichen — aus der mechan. Bodenanalyse . . . 266
Kobaltgehalt der Kupferschlacke 156
Kobaltreagens nach Kramer u. Tisdall zur Kalibestimmung 247, 248
Kochdauer. Einfl. auf die Borbest. mit der Titrationsmethode . . 189
Kochsalzgehalt im Schlamm 258, 259
Köhn, M: Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse . . 304
Königin der Weingärten. Versuche mit der Rebsorte — 173, 174
Köpfle, Versuche mit der Rebsorte — 176

Köttgen: Elektro-Ultrafiltration nach — 74, 103, 104, 105, 107, 108
—. Zur Methodik der mechan. Bodenanalyse 304
—. Nährstoffnachlieferung nach der Methode 104, 105
Kohärenz der Bodenteilchen. Verringerung bei Wasserzufuhr . 293
Kohlensäure. Bildung von Soda aus Kochsalz und — 258
—. Ausschaltung bei der Boruntersuchung 179, 180, 181
Kohlensäurefehler. Ausschaltung der — bei der Borbest. 181, 182, 192
Kohlensäurefreie NaOH. Herstellung von absolut — 179, 180, 181
Kohlensäureausscheidung und Ertrag, Verhältnis zwischen — 355
— bei steigendem Kaligehalt 358, 359
—. Einfl. versch. Nährlösungen auf die — 356, 357
— und Nährstoffaufnahme. Verhältnis von — 365, 368
— zu Trockensubstanz. Relativwerte des Verhältnisses — . . 360
—. Beeinflussung durch Wachstumsverhältnisse 360
— durch die Wurzeln und Trockensubstanzaufbau bei Mais 351, 368
— und Erntegewicht, Beeinflussung durch Kali 360, 361, 366, 367, 368, 369
—. Beeinflussung durch Licht 356, 360, 368, 369
—. Einfl. der Nachdüng. 363, 364, 369
— im Rhythmus des tageszeitl. Verlaufes 361, 362
—. Beeinflussung durch Stickstoff 360, 361, 366
—. Zusammenstellung eines Düngungsversuches 358
Kohlensaurer Kalk als Düngemittel 144
—. Neutralisationswirkung v. — 10, 11
—. Neutralisationswirkung im Vergleich zu Hüttenkalk 7, 9
Kohlenstoff-Best. in Huminsäurelösung. durch Oxydimetrie 127
— durch Verbrennungsanalyse . 121
Kolloideigenschaften d. Humus zur Kupferfestlegung 146
Kolloide, hydrophobe. Bildung aus hydrophilen Kolloiden durch Wasserentzug 154
—. Humusstoffe als — 153
—. Schutzwirkung der — . . . 153
—. Übergang in hydrophobe Kolloide bei Wasserentzug . . . 154
Kolorimetrische Borbestimmung 178
— nach Bertrand und Agulhon 178
— nach Gottschall 178
Kolorimetrische Nitratstickstoffbestimmung als Nitroxylenol . 198
Kongorot als Reagens auf Borsäure 178, 193
Konzentration als Definition der Huminsäuren 118
Kopecky, J.: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens . . 325
Kopeckyscher Schlämmapparat 295
Korn. Phosphorsäuregehalt der Asche beim — 246
—. Bestimmung der Trockensubstanz des — 13, 14
Kornansatz bei Versuchen mit Kupferschlacke 162
Kornbildung. Beeinträcht. durch Haldenschlacken 29
Kornerträge bei versch. Bodenarten 214, 215
Kornertrag. Wirkung d. Branntkalkes auf den — 14
— der Gerste unter dem Einfluß von Sulfatdüngung . . . 238, 241
— bei Grunddüngung 202, 203, 212, 214, 218
— unter der Einwirkung von Hochofenschlacken 22
—. Wirkung des Hüttenkalkes auf den — 14, 15
— bei versch. Kalkdüngung . 25, 29
— bei Düngung mit Kupferschlacke und $CuSO_4$ zu Hafer und Roggen 159, 160ff., 165, 166
— bei Düngung mit verschied. Phosphorsäuredüngern . 227, 229
— durch Stickstoffdüngung bei Weizenanbauversuchen . . . 223
— bei Versuchen über Urbarmachungskrankheit 145
— bei Volldüngung . . . 213, 215
Korngrößenverschiebung durch Berieselung 264
Korngrößenzusammensetzung des Bodens. Ermittlung der — 263, 264, 266, 301
Korn- und Strohertrag. Einfl. von Eisenmangel auf den — 142
Korn zu Strohverhältnis bei Düngungsversuch zu Hafer mit Kupferschlacke und $CuSO_4$. . 165
— bei Düngung mit Kupferschlacke zu Roggen . . 165, 166
— bei Volldüngung 206
Kornzahl bei Versuchen mit Kupferschlacke 161
Kossuthrebe. Versuche mit der — 173, 174
Kramer: Kobaltreagens nach — 247, 248

Krauß: Bodenprobenentnahme nach — 261
Kreislaufprobleme der leichtlösl. Phosphor-, Kali- u. Stickstoffverbindungen i. Boden 341, 342
Kreuler, I. W.: Bestimmung des Huminsäuregehaltes m. $KMnO_4$ 128
Kreybig: Sigmondmethode n. — 342
Kristallinische Rohphosphate . 249
Krümelanalysen . . 296, 297, 298
— nach Meyer-Rennenkampff 295, 304
Krümelgrößen des Bodens, die für die Stabilität maßgebend sind 292
— bei Natur- und Riesselland 297, 298, 299, 300, 302
Krümelstruktur. Natriumion als Feind der — 293
Krumholz, P.: Qualitative Mikroanalyse von Säuren 193
Kühnscher Schlämmzylinder . . 263
Kulmtonschiefer. Austauschazidität von — 250
Kupfer. Allm. Anreicherung des Bodens mit — durch regelm. Zuführung Cu-haltiger Düngemittel 151
— im Boden. Löslichmachen durch Erhitzen 152, 153, 154, 155
—. Bewertung des — 140
—. Giftwirkung des — 140
—. Bestimmung des Löslichwerdens von — durch Trocknen oder Erhitzen 148
—. Nachweis von — nach der Methode von Stolze 144
—. Physiol. Wirkung im Gesamtstoffwechsel der Pflanze . . 140
—. Wirkung als Spurenelement 139, 140
—. Stimulationswirkung geringer Mengen an — 140
—. Zur Heilung der Urbarmachungskrankheit . . . 140, 153
— als Nährelement 155
— als Wuchsfaktor 155
Kupferausnutzung durch Pflanzenwurzeln 154
Kupferbedürftigkeit d. Pflanze. Beweis durch Düngungsversuche mit $CuSO_4$ 141
Kupferbestimmung in urbarmachungskrankem Heidesand 151
Kupferentfernung nach der Methode von Stolze 141
Kupferfestlegung durch mit HCl behandelte Humussäure 141, 143, 146, 147, 154
Kupfergehalt der Heidesandböden 141
— im Hochmoorboden 143
— der Hochofenschlacke . . . 156
— in kranken und gesunden Heidesanden 141
— in der Merckschen Humussäure 143
Kupferhaltige Beizmittel zur Bekämpfung von Unkräutern . . 140
Kupferindustrie. Abfallstoffe der Cu-Industrie als Ersatz für $CuSO_4$ 156
Kupfermangel im Boden als Ursache d. Urbarmachungskrankheit 140, 141, 154, 156
Kupferschlacke. Analyse der — 156
—. Wirkung auf die Ausbildung voller Körner 161
—. Zur Bekämpfung der Heidemoorkrankheit 156
—. Die Rolle der Beschaffenheit der — bei der Höhe der Gabe 168
—. Günstige Wirkung auf die Entwicklung des Hafers bei heidemoorkranken Böden . . 162
—. Ernteergebnisse bei einem Versuch mit — 159
— als Ersatz des $CuSO_4$ bei der Bekämpfung der Heidemoorkrankheit 168
—. Wirkung auf den Ertrag bei steigenden Gaben 163
—. Wirkung auf den Ertrag im Vergleich zu $CuSO_4$ . . 161, 162
—. Einfl. auf den Ertrag der Steckrübe 166
—. Kupfergehalt der — 156
—. Nachwirkung der — . . . 168
—. Einfl. auf Pflanzenwachstum u. Futterqualität 157
—. Wirkung auf Strohertraganstieg bei Roggen 166
—. Einfl. auf das Wachstum der Lupine 163
—. Wirkung bei steigender Gabe 161, 162
—. Wirkung auf heidemoorkranken Böden 168
—. Einfl. auf die Wuchsfreudigkeit bei Hafer 158
—. Unterschiedliche Zusammensetzung der — 157
Kupfersulfat. Einfl. der Adsorptionsfähigkeit des Bodens auf die Wirkung des — 147
—. Zur Bekämpfung der Heidemoorkrankheiten 156, 168
—. Düngungsversuche mit — zum Beweis der Kupferbedürftigkeit der Pflanze 141
—. Günstige Wirkung auf die Entwicklung von Hafer auf heidemoorkranken Böden . . 162

Kupfersulfat. Ernteergebnisse bei einem Versuch mit — . . . 159
—. Wirkung auf den Ertrag im Vergleich zu Kupferschlacke 161, 162, 163, 166
—. Ertragsverbesserung der Steckrübe durch — 167
—. Kupferschlacke als Ersatz für — bei der Bekämpfung der Heidemoorkrankheit 168
—. Einfl. auf die Wuchsfreudigkeit bei Hafer 140, 158, 163
Kupferwerte. Vergleich von pH-Werten und — 153
Kuron. Siebsatz nach — . . . 295
Lärche. Ernährungsversuche m. — 75, 78, 80
—. Kalibedürftigkeit der — 84, 88, 89, 90, 98, 114
—. Kalkentzug durch — . . . 107
—. Verminderung des Kalkgehaltes auf Lößlehm bei Kalkung 99
—. Kalkphosphorsäurefaktor . . 252
—. Kalkwirkung bei der — 78, 85, 86, 90
—. Nährstoffbedürftigkeit für alle normal wichtigen Nährstoffe 82, 83, 89, 90
—. Phosphorsäurebedürftigkeit der — 87, 99, 100
—. Stickstoffbedürftigkeit der — 87, 88, 101
—. Einfl. der Volldüngung auf die Erträge der — 84
Lager, Einfluß auf die Erträge 222
. Beeinträchtigung der Stickstoffdüngewirkung 211, 222, 224
Lagerfälle. Einfl. der Standfestigkeit der Sorten auf die — . . 220
Lagerhäufigkeit in einzelnen Gebieten 220, 221
Lagern des Weizens. Beeinflussung durch Stickstoffdüngung 219
Lagerversuche nach versch. Vorfrüchten 219, 220
Langbein, F.: Abwasserbeseitigung 303
Laubhölzer. Kalk- u. Phosphorsäuregehalt der Asche von — 252
Lebensquantum der Pflanze . 131
Leguminosen als Vorfrüchte 212, 213, 214, 220, 224
Lehmboden als Versuchsboden 200
—, humoser, als Versuchsboden 13
—, saurer, Verhalten von Hüttenkalk auf — 24
—, saurer, als Versuchsboden . 233
Lehmiger Sand. Bodenprobenentnahme auf — 332, 333, 335, 337, 338, 340
— als Versuchsboden 1, 2, 3, 4, 5
Leistungsvermögen der Pflanze 130
Lemmermann, O. . . . 305, 332
Lent, J.: Owinger Forstdüngungsversuch 251, 255
Leuna-Montan als Stickstoffdünger 201
Lichtabhängigkeit des Umsetzungsprozesses zwischen Pflanze und Wurzel in nährstoffreichen u. nährstoffarmen Medien 362
Lichtabsorptionsgesetz nach Beer 118
Lichtmengen. Einfl. versch. — auf die CO_2-Ausscheidung 356, 360, 368, 369
Lockemann: Arsenbestimmung nach — 170, 171, 176
Löslichkeit von Kali im Boden 103, 104, 116
— der Bodennährstoffe 74
— von Phosphorsäure im Boden 116
— von Stickstoff im Boden . . 116
Löslichmachen von Nährstoffen durch Trocknen von Moorböden 147, 148, 155
Lößlehm. Kennzeichnung von — 113
—. Verminderung d. Kalkgehaltes in der Lärche bei der Kalkung auf — 78, 99
—. N-Ausnutzung auf — . . . 102
—. Phosphorsäurebedürftigkeit des — 100
— als Versuchsboden . . 76, 78 ff.
Lösungsverhältnisse im Boden 151
Lösungsversuche an Hüttenkalken zur Ermittlung der Bindungsfestigkeit 12
Luft-, Boden-, Wasserverhältnisse bei Riesel- und Naturland 274, 275
Luftdurchlässigkeit bei Riesel- und Naturland 279, 286
Luftgehalt des Bodens . . . 285
Luftkapazität. Ermittlung der — 306
Lundegårdh, H.: Abdichtung mit Kakaobutter u. Paraffinöl . . 353
—: Salzaufnahme der Pflanzen 370
Lupine. Beeinfl. durch Kupferschlacke 163, 164
—. Stickstoffleistung der — . . 370
—. Wurzelanteil der — . . 375, 376
Luzerne als Vorfrucht . . 200, 342

Magnesium. Basische oder nicht basische Form des — als Düngemittel 231, 232, 242
—. Düngung in Form von Sulfat 232, 235
—. Physiol. saurer Charakter der — 235

Magnesium. Reaktionsverbesserung durch — 232
—. Verdrängung des absorbierten — aus dem Bodenkomplex mit Wasserdampf . . . 243, 246, 247
Magnesiumaufnahme der Fichtennadeln. Beeinflussung durch Düngung 58, 59, 70
Magnesiumbestimmung. 102, 246
—. Von austauschfähiger — . . 248
— im Bodenauszug 74
— in der Erntesubstanz 238, 239, 240
— mit o-Oxychinolin 249
Magnesiumgehalt im Hüttenkalk 12, 13
— der Kupferschlacke 156
Magnesiumkarbonat. Basenbedarf des Bodens bei Düngung mit — 235, 236
— als Dungemittel 233
—. Einfl. auf Boden u. Pflanze 240
—. Reaktionsverbesserung des Bodens durch — 236
Magnesiumsalze. Düngewirkung der — . . . 236, 237, 238
Magnesiumsulfat. Basenbedarf des Bodens bei Düngung mit — 235, 240, 241
—. Einfl. auf Boden u. Pflanze 231, 240
— als Düngemittel bei Mg-Mangel 242
— als Nahrlosung 141
—. Einfl. auf den P-Gehalt der Asche 241
— als physiol. saures Dungesalz 233, 236
—. Chem. Einfl. auf den Reaktionszustand des Bodens . . 233
Magnesiumtetraborat. 189, 190, 191
Mais. Beziehungen zwischen Trockensubstanzaufbau und CO_2-Ausscheidung durch die Wurzeln bei — 353
—. Gründüngungsversuche mit — 342, 370, 372, 374, 377
—. Kartoffelerträge nach Wurzeldüngung mit — 376
—. Milchleistung bei Verfütterung mit — 378, 379
Manganaufnahme der Fichtennadeln. Beeinflussung durch die Bodenreaktion . . 60, 61, 62, 70
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Düngung . . . 60, 61, 62
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Kalisalze . . 60, 61, 62, 70
Mangangehalt des Boden. Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln bei Kalidüngung 61, 62, 70
— der Kupferschlacke 156
Mangan. Wichtigkeit für den Aufbau des Getreides . . . 206
—. Wirkung als Spurenelement 139
Mangansulfat als Nährlösung 141
Manganverbindungen im Hüttenkalk 16
Mangelböden der Heidegebiete. Wirkung der Hochofenschlacke auf — 157
Mangelerscheinungen bei verschiedenen Holzarten auf verschiedenen Bodenarten . . . 99
Manshard, E.: Nährstoffgehalt der Aschen forstl. Kulturpflanzen 251, 256
—. Fichtenschädigungen durch Cl-haltige Düngemittel . . . 72
—. Nährstoffgehalt der Aschen von jungen Fichten 72
Mannitlösung bei der Borbestimmung 182, 183, 188
Maßanalytische Bestimmung der Borsäure 193
Massenwirkung zwischen Pflanzen u. Bodenstickstoff . . . 133
Massenwirkungsgesetz. Zusammenhang mit der Mitscherlichschen Ertragsformel . . . 133
Masseva, M.: Chlorophobie der Pflanze 57, 72
Maurmann, G.: Versuche uber die Nährstoffaufnahme versch. Holzarten 72, 117
—. Wuchsleistung u. Nährstoffaufnahme in Abhangigkeit von der Bodenreaktion 255
Melioration, chem. fur die Forstwirtschaft 73
Mendelsches Gesetz 135
Merckscher Humussaure . . . 143
Mehrerträge. Beziehungen zu den Grunderträgen beim Weizenbau 205, 206
—. Zweckmäßige Hohe der Stickstoffdungung für die — . . . 209
Mehrertrag an Phosphorsaure bei Kalkung 109
— bei Volldüngung 109
Methoden der Bodenzerlegung 263
Methylalkohol-Schwefelsaure-Destillation zur Borbestimmung 179, 192
Methylorange als Indikator bei der Borbestimmung 182, 183, 246
Methylrot als Indikator bei der Borbestimmung . . 182, 183, 192
Meyer: Kalkbestimmung nach — 8, 9, 10
Meyer-Rennenkampff: Krümelanalyse nach — 295

Mikrobielle Einflüsse als Ursache der Urbarmachungskrankheit . 140
Mikrobiologie des Waldbodens 352
Mikrobiologische Beeinflussung leicht-löslicher N-Verbindungen 343
Mikrokjeldahl-Methode zur Bestimmung von Nitrat u. Ammoniak 344
Mikroorganismen. Einfl. auf die Mobilisierung schwer löslicher Grundverb. nach dem R-Gesetz 343, 344
Mikroorganismentätigkeit. Biol. Beeinflussung der Salze durch künstl. Beeinfl. der — 343, 345, 350
—. Einfl. auf das dynam. Verhalten der leicht lösl. Phosphor, Kali- und Stickstoffverb. des Bodens 341, 342
Milcherzeugung. Notwendige Menge an verdaul. Eiweiß und Stärke zur — 377
Milchleistung bei Verfütterung mit versch. Gründüngungspflanzen 378
Mineralböden. Aufschließende Wirkung auf schwer lösliche Phosphate 250
—. Kationen- und Wasserhaushalt des — 370
. Verwertung von Rohphosphat auf sauren — 255
—, saurer. Wirkung von Algier- und Floridaphosphat auf . . 249
Mineralbodenschicht, obere. Bedeutung f. d. Nährstoffkreislauf 77
Mineralbodenzone, obere. Bedeutung für den Waldboden 77
Mineralstoffe. Beeinflussung durch Salzsäure 147
Mineralstoffgehalt in der Merckschen Humussäure 143
Mineralzone, Obere. Bedeutung beim Waldboden 76
Mischmethode von Janert zur Bestimmung der Benetzungswässer 291
Mitscherlich, E. A.: Ein Bohrgerät zur volumetr. Entnahme von Bodenproben aus beliebiger Tiefe 346
—. Bestimmung der Hygroskopizität des Bodens nach — . . 315
—. Vergl. mit Neubauerschalen für Versuche mit verschiedenen Holzarten 80
—. Volumetrische Bodenprobenentnahme nach — . 326, 330, 331, 334, 335, 336, 338, 339, 340
— Wachstumgesetz 129, 133, 134, 135
Mobilisierung des im Boden vorhandenen pflanzenaufnehmbar. Kupfers 151
Molkenboden. Austauschazidität von — 250
Molybdänmethode zur Phosphorsäurebestimmung 103
Monokalziumsilikat. Zersetzlichkeit durch Säuren 11
Moor. Chemie des — 128
Moorböden. Anwendung d. Permanganatmethode bei — . . 120
—. Trocknen von — zur Löslichmachung der Nährstoffe . . . 147
Moorsubstanz. Veränderung der — durch Wasserentzug . . . 154
Moostorf. Reinigung durch Salzsäure 144
— als Versuchsboden 144
Müller-Thurgan. Versuche mit der Rebsorte — . . 173, 174, 175
Muschelkalkboden. Kalibedürftigkeit des — 98
—. Kalkgehalt der Kiefer aus — 98
—. Nährstoffbedürftigkeit versch. Holzarten auf — 84
—. Rebversuche auf — 172, 173, 174, 175, 176
—. Stickstoffausnutzung auf 102
— als Versuchspflanze 75, 76, 78, 79
—. Wachstum versch. Holzarten auf — 78
Nachdüngung. Einfluß auf Erntegewicht und CO_2-Ausscheidung 363, 364, 369
Nadelhölzer. Kalkgehalt der Asche von — 252
Nadelnverfärbungen, verursacht durch Nährstoffmangel . . . 78
Nährelement. Kupfer als . 155
Nährlösung. Einfluß versch. — auf die CO_2-Produktion . 356, 357
— nach Zinzadze 141
Nährstoffe. Löslichmachung durch Moortrocknung . . 147, 148
Nährstoff, wirksamer 132
Nährstoffanalyse 116
Nährstoffaufnahme. Bewertung der — 111, 354
—. Einfluß der Bodenreaktion auf die — saurer Böden . . . 74, 75
— der Fichte aus verschiedenen Bodenarten 95
— verschied. Holzarten in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung 117
— der Kiefer aus versch. Böden 94, 95
— und Kohlensäureausscheidung. Verhältnis von — 365
— der Lärche aus versch. Bodenarten 89, 90

Nährstoffbedürftigkeit versch. Böden 97, 112
— versch. Holzarten 83
— versch. Holzarten auf Muschelkalkboden 84
Nährstoffbestimmung nach Neubauer 225, 226
— auf statistischem Wege . . . 112
Nährstoffeinheiten nach Baule 136
Nährstoffentzug. Abhängigkeit von der Gesamtoberfläche aller Wurzeln. 111
Nährstoffgehalt der Aschen forstlicher Kulturpflanzen . . 251
— und CO_2-Ausscheidung . 366, 368
— von Waldböden 36
Nährstoffgüte. Bestimmung der — von Waldböden 112
Nährstoffkreislauf. Bedeutung der oberen Mineralbodenschicht für den — 77
Nährstofflieferung des Ackerbodens 73
— versch. Waldböden 72
Nährstofflöslichkeit. Chemische Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der — . 98, 102, 103, 107, 111
Nährstoffmangelversuche zur Ermittlung der Stickstofform . 202
Nährstoffnachlieferung nach der Methode Köttgen 104, 105, 110
Nährstoffreichtum d. Abwassers 303
Nährstoffverarmung in der oberen Mineralbodenzone . . 77
Nährstoffversorgung d. Bodens. Einfluß auf den Kaligehalt der Fichtennadeln. 47
—. Versorgung durch Kalk . . 98
Nährstoffversuche mit verschied. Holzarten. Erträge bei — . . 88
Nährstoffverwertung 138
Nährstoffwirkung in der Pflanze, gemessen am Kalkgehalt . . 85
Naphtolphthalein bei der Borbestimmnng 182, 192
Natrium. Verdrängung des absorbierten — aus dem Bodenkomplex mit Wasserdampf 243, 246
Natrium-Ion, Feind der Krümelstruktur 293
Natriumbestimmung 247
Natriumchloridlösung. Herstellung einer 2 n — 243
Natriumfluoridbehandlung bei der Humusbestimmung 121, 122, 123
Natriummetaborat. Bor als — 187
Natronlauge, CO_2-frei, zur Borbestimmung 192
— absolut CO_2-freie. Herstellung von — 179, 180
Natronlaugebehandlung bei der Humusbestimmung. 121, 122, 123
Natronsalpeter als Düngesalz . 138
Naturlandboden. Benetzbarkeit von — 302
—. Boden-Luft-Wasserverhältnis bei — 274, 275
—. Durchluftung bei — . . . 302
—. Einzelkornstruktur des —. . 300
—. Feinboden zur Charakterisierung von 306
—. Glühverlust bei — 301
—. Krümelanalysen mit — 294, 295, 296
—. Krümelgrößen von — . . . 302
—. Mangel an organ. Stoffen. . 277
—. Physikal. Verhalten des — . 303
—. Vergleich mit Rieselland 259, 263
—. Wasseraufnahme von . . . 289
—. Wassergehalt bei — . . . 302
—. Wassergehaltsschichtlinien u. Luftdurchlässigkeit bei — . . 279
Natrium. Verdrängung von — . 246
Nehring, K.: Bestimmung des Mg mit o-Oxychinolin . . . 249
Němec, A.: Einfluß Cl-haltiger Kalisalze auf das Fichtenwachstum 72
—. Einfluß des Kalkens auf das Wachstum junger Fichten . 60, 72
—. Einfluß der P-Düngung auf das Fichtenwachstum 72, 251, 256
Neubauer: Nährstoffbestimmung nach der Keimpflanzenmethode von — . . 74, 177, 225, 226, 343
Neubauer-Schalen. Vergleich mit Mitscherlich-Gefäßen für Versuche mit Holzarten . . . 80
Neuburger. Versuche mit der Rebsorte — 173, 174
Neutralisationsgeschwindigkeit von Schlacke 32
Neutralisationswirkung von gequollenem Hüttenkalk 18, 19, 34
— von Gichtstaub 32
— versch. Hochofenschlacken . 22
— des Kalkes im Hüttenkalk 1ff., 10ff., 17, 18, 26
— von kohlensaurem Kalk . 9, 10
— der sauren Schlacke 30
Nichteiweißstickstoff. Bestimmung des — 194, 195
Nichtleguminosen als Gründüngung 384
Nickelgehalt der Kupferschlacke 156
Nicolaisen, W.: $CuSO_4$-Düngung gegen Heidemoorkrankheit. . 169
Nicolardot, P.: Volumetrische Borbestimmung nach —. 178, 194
Niederschlagsmangel. Einfluß auf die Fichtenverluste . 43, 44, 45

Niederschlagstabelle eines Riesellandversuches 262
Niederungsmoorboden 2, 3, 4, 5
Niehaus, H.: Bedeutung des CaS in Hochofenschlacke 34
—. Versuche mit Hüttenkalk . 23, 26
Nitrate. Mikrobiologische Beeinflussung der — 344, 345
Nitratstickstoff. Bestimmung als Nitroxylenol kolorimetrisch 197, 198
—. Bestimmung nach der Mikro-Kjeldahl-Methode 344
— in Pflanzenteilen. Bestimmung von — 194, 197, 198
— Bestimmung in der Trockensubstanz 194
—. Reduktion zu Ammoniakstickstoff 195
—. Reduktion mit Ferrochlorid . 196
—. Reduktion mit Zinkstaub und $CuSO_4$ 194
—. Zusammenhang mit der Bakterientätigkeit 348
Nitrifikation auf Kosten von NH_3-Stickstoff 349
— Einfluß des Wassergehaltes auf die — 349
Nitrobenzol-Azochromotropsäure zur kolorimetrischen Borbestimmung 193
Nitrophenol. Reduktion mit Thiosulfat oder Zinkstaub 194
Nitrophoska. Bewertung der Phosphorsäure im — 225
—. Körnerträge bei Düngung mit — 227, 229
—. Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit — . . . 228, 229
— als Stickstoffdünger 13, 24, 32, 201
—. Zusammensetzung des — 226, 228
Nitroxylenol. Bestimmung von Nitratstickstoff als — 198
Nitzsch: Bodenprobenentnahme nach . . . . 306, 315, 326ff.
Noll, F.: Volumetrische Borbestimmung nach 178
Nolte, O.: Schwefeldüngung 232, 242
Nosprasen als Spritzmittel für Reben 173, 174
von Nostitz, A.: Humusbest. mit $KMnO_4$ 126, 128

Oberflächenspannung als Mittel zur Umwandlung vom Einzelkorn- zur Krümelstruktur . . 292
Organ. Substanz des Abwassers 258
—. Bestimmung der — im Boden 126, 128
—. Perhydrol zur Zerstörung — 152, 187
—. Reduktionswert der — . . 124
— bei Riesel- und Naturlandboden 301
—. Zufuhr an — durch Abwasserverrieselung 265
Oxalsäure für Kalibestimmungen 247
Oxychinolinlösung. Zur Magnesiumbestimmung . . . 246, 249
Oxydation von Humuslösungen 127
— der Sulfite durch Wasserstoffsuperoxyd 192
Oxydations- u. Farbwert von Bodenauszügen je Konzentrationseinheit C 123
Oxydationswerte zur Charakterisierung der Humuseigenschaften 119
Oxydimetrie. Zur C-Bestimmung in Huminsäurelösungen 118, 119ff.

Paraffinöl zur Abdichtung . . 353
Passon. Bestimmung des CaO-Gehaltes nach — 158
Peluschken. Gründüngungsversuche mit — . . . . . 371, 372ff.
—. Wurzelanteil der — . . 375, 376
Peptisation, totale. Unterschied zwischen natürl. Aufschlämmung und — 266
Perhydrol für Bodenaufschlüsse 170, 172
—. Medicinale Prüfung des — zur Borbestimmung . . 191, 192
— zur Zerstörung geringer Mengen organ. Substanz . . . 152
— als Oxydationsmittel 187
Permanganatmethode. Anwendung bei Moorböden 120
Permanganat-Oxydation. Bildung von Ameisensäure bei der — 127
Permanganatverbrauch von Bodenauszügen 121, 124
— von Bodenauszügen in Beziehung zur C-Konz. der Lsg. . 122
—. Zusammenhang zw. Konzentr. der Humusstoffe und — . . 127
Permanganat-Werte pro Konzentrationseinheit für Bodenauszüge 127
— pro Konzentrationseinheit für Huminsäuregel 127
Permanganatzahl in der Fulvosäurelösung 122, 125
— in der Huminsäurelsg. 119, 120, 125
Pfeiffer, K.: Mechan. Bodenanalyse 323, 325
Pfeffer als schwefelbedürftige Pflanze 232
Pferdebohnen als Gründüngungspflanze 383
— als Vorfrucht 200

Pflanzeneiweiß. Bildung aus Stickstoff im Raps 380
Pflanzenertrag. Abhängigkeit von sämtl. Wachstumsfaktoren 139
—. Beeinfl. durch äußere u. innere Verhältnisse 131
—. Berechnung aus aufgenommenen Nährstoffmengen . . 138
—. Steigerung mit dem Anwachsen eines Wachstumsfaktors . 135
Pflanzengenotyp. Ertragsfähigkeit eines — 134
Pflanzenhöhe. Messung zur Best. der Wuchsleistung 36
Pflanzenmaterial. Boranalysen in — 178
Pflanzenschutzmittel. Nosprasen als — 170, 173, 174
Pflanzenteile. Borbestimmung in — 177, 184
Pflanzenwachstum. Innere und äußere Faktoren des — . . . 131
—. Beeinfl. durch Schlacke . . 157
Pflanzenwachstumsfaktor. Wirkungsfaktor für — . . . 129, 131
Pflanzenwurzeln. Kupferausnutzung durch — 154
—. Lösungsverh. im Boden durch die — 151
Pflanzenzahl bei Versuchen mit Kupferschlacke 159, 160
pH-Werte in frischem u. getrocknetem Boden 153
—. Vergleich mit Kupferwerten 153
—. Regulierung durch Kalkwasser 142
— in der Wasseraufschlämmung nach der Ernte 230
— der Weinbergsböden 172, 173, 174, 175, 176
Phenol. Nitratstickstoff gebunden an — 194
Phenolphthalein bei der Borbestimmung 182, 183, 186, 188, 192
Phosphate. Abtrennung durch Methylalkoholschwefelsäure . 179
— als störende Bestandteile bei der Borbestimmung 179, 183, 186
—. Relativer Wert von versch. — 255
Phosphorpentoxyd. Zur Bodentrocknung 307
Phosphorsäure. Bewertung der — in Nitrophoska und Stickstoffkalkphosphat 225
—. Löslichkeit der — im Boden 107, 108, 109, 116
—. Mobilisierung durch Mikroorganismen 344, 345
— als Trikalziumphosphat in Rohphosphaten 249
—. Wirkungswert der — . . . 225
—. Bestimmung der — im Bodenauszug 74
Phosphorsäureaufnahme und Bodenreaktion 255
—. Beeinflussung durch Ca- und Mg-Düngung 242, 249
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Düngung . . . 53, 54, 55
—. Beeinfl. durch Kalisalz 40% 53, 54, 55
—. Beeinfl. durch Kainit 53, 54, 55
—. Beeinflussung durch den Kalkgehalt des Bodens 55, 70
—. Beeinfl. durch P-Gehalt des Bodens 70
— aus schwerlösl. Kalkphosphaten durch kalkliebende Pflanzen 249
— der Kiefer, Beeinfl. durch Kalkung 100
— der Lärche, Beeinfl. durch Kalkung 100
Phosphorsäureaufschließungsvermögen der sauren Humusauflage 250
Phosphorsäure-Ausnutzung des Bodens durch versch. Holzarten 100
— bei versch. Bodenarten . . 230
— auf versch. Boden bei versch. P-Düngern 228, 229
Phosphorsäure-Bestimmung 102, 103
— nach der Elektro-Ultrafiltrationsmethode 110
— in der Erntesubstanz 238, 239, 240
— bei Nährstoffversuchen mit verschiedenen Holzarten 88
— nach Sigmond oder der Aspergillus-Methode 344, 350
— nach der Zitronensäuremethode 116
Phosphorsäurebedürftigkeit der Boden 100, 101, 114, 115, 125
— versch. Holzarten 87
— der Kiefer 99, 100
— der Lärche 99, 100
Phosphorsäuredüngemittel. Zusammensetzung der — . . 228
Phosphorsäuredüngung, basische. Wirkung der — . 234, 236
—. Einfl. auf die Bodenreaktion 235, 254
—. Einfl. auf das Fichtenwachstum 72
—. Einfl. auf die Mn-Aufnahme der Fichtennadeln . 60, 61, 62
—. Einfl. auf den Ertrag versch. Holzarten 253, 255
—. Einfl. auf den Mehrertrag 114, 115
—. Rohphosphate als — . . . 249
Phosphorsäuregehalt der Asche von Nadel- und Laubhölzern 252
— in der Asche der Gerste 240, 241

Phosphorsäuregehalt verschiedener Böden 253, 256
— des Bodens. Einfl. auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln 46, 47, 48, 49, 50
— des Bodens. Einfluß auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln 55, 56, 57, 58, 70
— des Korns. Beeinflussung durch Ca- und Mg-Düngung . . . 240
— des Bodens. Einfluß auf die Mg-Aufnahme d. Fichtennadeln 58, 59, 70
— des Bodens. Einfluß auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln 51, 52, 53
— des Bodens. Einfluß auf die P-Aufnahme der Fichtennadeln 53, 54, 55, 70
—. Einfl. auf die Wuchsleistung junger Fichten 68, 69
— im Boden, Zusammenhang mit Bakteriengehalt 346, 349
Phosphorsäure - Mangelerscheinungen bei Versuchen auf Waldboden 78
Phosphorsäuresteigerungsversuch zu Hafer 226
Phosphorverbindungen, leichtlösliche. Kreislaufprobleme der — 341, 342
Phosphorsäureversorgung des Bodens 37, 38
— des Bodens. Einfl. auf die N-Aufnahme der Fichtennadeln 69, 70
—. Verbesserung durch entspr. Bodengare 351
Phys. Bodeneigenschaften. Beeinfl. durch Abwasservorreinig. 258
Physikal. Bodenveränderung . 259
Physikalische Bodenverhältnisse. Veränderung durch Abwasserzuführung 257, 301, 324
— als Ursache für phytopatholog. Stoffwechselstörungen . . . 305
— kurvenmäßig dargestellt 319, 320
Physikalische Standortserläuterung 259
Physikalisches Verhalten der Riesellandund Naturlandböden 303
Physiologisch saure Düngesalze 232, 233
Physiologische Störungen als Ursache der Urbarmachungskrankheit 140
Phytopatholog. Stoffwechselstörungen verursacht durch physikal. Bodenverhältnisse . 305, 306
Pilzliche Krankheitserreger. Cuhaltige Beizmittel zur Bekämpfung — 140
Pilzzählung mit der Plattenmeth. 344
Plattenmethode zur Zählung von Bakterien und Pilzen 344
Podsol. Fulvosäure. Anteile im — 125
Podsolierung als Ursache schlechter Streuzersetzung . . 77
Polarimetrische Borbestimmung 177
Poren, enge, zur Schaffung einer hohen Wasserhaltefähigkeit . 269
Porenäquivalentdurchmesser bei versch. Porengruppen im Riesellandversuch 268
Porengrößen b. Riesellandboden 266
Porengrößenermittlung nach Fischer-Donat 266
Porengrößenverteilung bei Riesel- und Naturland 268, 269, 278, 301
Porengrößenzusammensetzung 267
Porengruppen bei Natur- und Rieselland 270, 271
Porenraum. Einfl. auf die Durchlüftung des Bodens 285
Porenvolumen. Ermittl. des — 306
—. Wassergehalt im — 276
—. Errechnung des — 272
Portugiesen. Versuche mit der Rebsorte — 175
Prjanischnikow: Relativer Wert von versch. Phosphaten . 249, 255
Propionsäure. Bildung bei der Permanganat-Oxydation . . . 127
Purpurin: Zur kolorimetr. Borbestimmung 178
Pyknometermethode. Zur Bestimmung des spez. Gewichtes und des Volumens fester Bodenteilchen 272, 315

Quarzit. Kalibedürftigkeit von — 98
—. Kennzeichnung von — . . 113
—. Phosphorsäurebedürftigkeit von — 100
—. Stickstoffausnutzung auf — 102
— als Versuchsboden 76, 79, 81, 82, 83, 86
—. Wuchshemmung infolge Kalidüngung 107
Quellung. Beziehung zur Wasseraufnahme der Schlacke . . 22
Quellfähigkeit. Beeinflussung durch Kalk 21
—. Beziehungen zur Düngerwirkung 21
— der Hochofenschlacke . . . 23
— der Schlacke, Beeinfl. durch Branntkalk 21
Quellungsgrad. Bestimmung des — 21
Quellungsvermögen von Hochofenschlacke 20

Rademacher, P.: Heidemoorkrankheit 155, 156, 169
Räuschling. Versuche mit der Rebsorte — . . 172, 173, 174, 175
Raps. Gehalt an verdaulichem Eiweiß 380
—. Grünmassenerträge bei — . 377
—. Kartoffelerträge nach Wurzeldüngung mit 376
—. Milchleistung bei Fütterung mit — 379
—. Versuche mit — als Versuchspflanze 370, 371, 372, 374, 377
Rauterberg, E.: Bestimmung von N-Fraktionen 198
Reaktion, irreversible 132
Reaktionsansprüche d. Weizens 218, 224
Reaktionsverbesserung durch Kalk 110
— durch Magnesiumdüngung . 232
Reaktionsverhältnisse in versch. Bodenarten mit u. ohne Kalk 86, 87
— des Muschelkalkbodens, Hemmung der Wuchsleistung durch die — 84
— der Waldböden 73
Reaktionswerte des Bodens 233, 234
Reaktionszahlen des Bodens 225, 226
—. Beeinfl. durch versch. Phosphorsäuredünger 230
Reaktionszustand des Bodens, Veränderung des — 230, 233, 234, 236, 242
—, Verbesserung durch $MgCO_3$ 236
—, chem. Einfluß von $CaSO_4$ u. $MgSO_4$ auf den . . 233, 234
—. Beeinfl. durch P-Düngung 235, 236, 237
Reben. Arsenaufnahme aus As-haltigen Boden durch die — 169, 176
Rebstock, Bestimmung von Arsen in den einzelnen Pflanzenteilen des — . . . 170, 172, 173, 174
Reduktion mit Thiosulfat . . 194
— mit Zinkstaub 194
Reduktionsgröße, Beziehung zum Bodentyp 121
Reduktionswert der organ. Substanz 120, 124
Reizwirkung des Kupfers . . 140
Rennenkampff. Krümelanalyse nach Meyer- — 295
R-Gesetz. Mobilisierung durch Bodenmikroorganismen i. Sinne des — 343
Rhenaniaphosphat als Düngemittel 260
Rieselandboden. Benetzungswärme von — 302
—. Boden-, Luft-, Wasserverhältnis bei — 274, 275
—. Durchlüftung bei — . . . 302
—. Einzelkornstruktur des — . . 300
—. Wichtigkeit d. Gasaustausches im — 269
—. Glühverlust bei 301
— als hydrophiler Typus . . . 267
—. Korngrößenzusammensetzung von 264
Krümelanalysen mit — 295, 296, 302
—, physikal. Verhalten der — . 303
—. Porengrößen bei . . . 266
. Stabilität der Krümelung beim — 300
— Temperatur- u. Niederschlagstabelle 262
—. Vergleich mit Naturland 259, 263, 301
—. Versuchsfrüchte auf — . . 260
—. Wasseraufnahme von — . 289
—. Wassergehalt bei 302
—. Wassergehaltsschichtlinien u. Luftdurchlässigkeit bei . . 279
Rieselmüdigkeit des Bodens . 257
Riesling. Versuche mit der Rebsorte . . 172, 173, 174, 175
Roggen. Ernteerträge bei Düngung mit Kupferschlacke 165, 166
—, Petkuser, als Versuchspflanze 2, 5, 6
—, Verhalten in saurem Waldboden 73
als Versuchspflanze auf Rieselland 260
als Vorfrucht 371
Roheiweißgehalt der Grünmasse bei versch. Zwischenfruchtpflanzen 377
Rohhumus. Gehalt von Heidesandboden an 158
Rohphosphate. Anwendung auf sauren Hochmoorboden 249, 250
—. Beeinfl. der Aufnehmbarkeit durch versch. Faktoren . . . 249
. Aufschließung durch versch. Holzarten 252
. Aufschließungsvermögen der Böden in 251
. Einfl. der Beidüngg. auf die Verwertung der — . . 249, 250
. Verwendung als Düngemittel 250, 255
—. Verwendung in der Forstwirtschaft 250
—. Wirkung versch. — auf Hochmoorboden 255
—. Beeinfl. der Wirkung durch Kalkung . . 252, 253, 254, 255
—. Praktische Verwendung der — 251

Rohphosphate, seine Wirkung auf das Wachstum der Holzarten in sauren Waldböden 249
Rosenbladt, gravimetrische Borbestimmung nach — . . 177, 193
Rosenheim, A.: Polyborate in wäßr. Lösung 193
Rübe als Versuchspflanze . . . 342
Rübsen als Versuchsfrucht . . 23
Ruländer, Versuche mit der Rebsorte — 173, 174
Säuregehalt der Ernteprodukte beim Gerstenversuch 238, 239
Säuregrad in versch. Bodenarten mit und ohne Kalk 86, 87
Säureüberschuß. Einfluß beim Kochen der Titrationslösung bei der Borbestimmung 190
Salpeter als Stickstoffdünger . 201
Salpetersäure. Reduktion zu NH_3 196
—. Reduktion zu salpetriger Säure 195
Salzminder. Standard für Weizenanbauversuche 201
Salzaufnahme der Pflanzen . . 370
Salzkonzentration. Einfluß auf den Titrationswert . . . 190, 191
Salzsäure für Bodenauszüge 74, 103, 104, 105, 107, 108
—. Einfluß auf Eiweißstoffe 144, 147
—. Einfluß auf die Extrakt-Bitumina 147
— zur Hydrolyse von Hemizellulosen 144, 147
— bei der Humusbestimmung 121, 122, 123
—. Einfluß auf Mineralstoffe 147
— zur Reinigung von Acidum humminicum 144
— zum Reinigen von Hohenbockaer Glassand . . . 141, 142
—. Wirkung auf Zellulose . . 144
Sandboden. Probenahme auf 327, 328, 329
—, saurer. Verhalten von Hüttenkalk auf 24
Sandtorfgemisch als Versuchsboden 1, 6
Sauerstoffmangel in der Nährlösung als Ursache der Urbarmachungskrankheit 140
Sauerstoffzahl bei der Humusbestimmung 119, 122
Saugkraft des Bodens verantwortlich für die Sickergeschwindigkeit 313
Saugspannung. Beziehung. zum Äquivalentdurchmesser . . . 266
—. 1 Atm. als Grenze zw. dem dynamisch wirksamen und dynam. unwirksamen Anteil des Porenvolumens 267
Saure Hochofenschlacke . . 13
Sedimentationsmethode zur Bodenzerlegung 263
Sekera, F.: Beurteilung der Wasserversorgung als Standortsfaktor 325
—. Schwellenwert der Struktur nach — 315
—. Strukturanalyse des Bodens 304
—. Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden 304, 324
Senf, schwarzer, als schwefelbedürftige Pflanze 232
— als Versuchspflanze 32
—. Samenempfindlichkeit des — 32
—. Ernten an Trockensubstanz 32
Serradella als Gründüngungspflanze 383
Sickergeschwindigkeit. Ermittlung der — bei trockenem Boden 313, 314
Siebert, H.: Einfluß steigender N-Gaben auf Ertrag und Güte einiger Zwischenfrüchte . . . 384
Siebmethode. Zur Bodenzerlegung 263
Siebsatz nach Kuron 295
Siegerländer Weizen für Anbauversuche 201
Sigmond-Methode zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphorsäure 344
— nach Kreybig 342
— nach Várallyai 341
Silikate. Abtrennung durch Methylalkohol-Schwefelsäure . 179
— als störende Bestandteile bei der Borbestimmung 179, 183, 186
Silvaner. Versuche mit der Rebsorte . . . 172, 173, 174, 175
Simon, K.: Charakteristische Humusstoffe . . . 119, 120, 128
Sodabildung aus Kohlensäure und Kochsalz 258
Söderbaum, H. G.: Faktoren, die die Düngewirkung schwerlösl. Phosphate beeinflussen . 250, 255
Sofnolrot als Indikator bei der Borbestimmung 182, 192
Solvaykalke. Boranalysen in — 178, 184
Sonnenblumen. Versuche mit — als Gründüngungspflanze 371, 372, 374, 377
—. Grünmasseerträge der — . 377
—. Kartoffelerträge nach Wurzeldüngung mit 376
—. Milchleistung bei Verfütterung von — 379

Sorptionskomplexe des Bodens 283, 287
Sorptionsmöglichkeiten durch Humusstoffe 146
Souci, S. W.: Chemie d. Moores 119, 120, 126, 128
Speichermann, H.: Humusuntersuchungsmethodik 128
Spektographische Borbestimmung. 178
Spez. Gewichtsbestimmung fester Bodenteilchen 315
— mit dem Pyknometer . . . 272
— der Zylinder-Entnahmen . . 318
Spitz, G.: Volumetrische Borbestimmung nach — . . . 178, 193
Spring, W.: Benetzbarkeitsmessung nach — 289
Springer, U.: Ermittlung der humifizierten Substanz nach — . 315
—. Die Bestimmung der organ., insbes. der humifizierten Substanz im Boden . . 119, 128, 325
Spurenelemente. Gichtstaub als Quelle für — 34
—. Kupfer als — 139
Schimmelpilzbildung im Filtrat getrockneten Bodens 148
—. Verhinderung durch Vorziehen der Pflanzen in Buchenholzspänen 353, 354
Schlacken. Basengehalt saurer — 30
— als Bodenverbesserungsmittel 31
— als Kalkdünger 30, 31
— Neutralisationsgeschwindigkeit der —. 32
Schlamm. Bedeutung als Humusergänzung 258
Schlämmanalyse zur Ermittlung des Strukturfaktors 315
Schlämmapparat nach Kopecky 295
Schlämmzylinder nach Kühn . 263
Schluffteilchen im Rieselland boden 263, 264, 265
Schmidt, O.: Benetzbarkeitsmessung nach — 289
Schnellmethoden z. Glasanalyse 194
Schroeder, J.: Düngungsversuche mit jungen Fichten 35, 45, 72
Schucht, F.: Grundzüge der Bodenkunde 308, 325
Schulek, E., u. Vastagh: Volumetr. Borbestimmungsmethoden 178, 185, 192, 193
Schumacher, W.: Physik des Bodens 307, 325
Schutzkolloid im Boden. Humussol als — 153
Schutzwirkung der hydrophilen Kolloide. 153
Schwarmhüllenverdickung. Einengung des Porenraumes durch — 285
Schwarmionen kleinster Bodenteilchen 270
Schwarzerden. Fulvosäure-Anteile in — 125
Schwebestoffe im Abwasser als Träger der Feuchtigkeit . . 284
Schwefel als mittelbares Düngemittel. 232
Schwefelbestimmung in der Erntesubstanz . . 238, 239, 240
Schwefeldüngung. Einfluß auf die Leguminosen . 231, 232, 242
—. Notwendigkeit der — . 232, 242
Schwefelgehalt des Getreidekorns 238
— der Kupferschlacke 156
Schwefelversorgung d. Bodens aus der Luft 231
Schwellenwert der Struktur nach Sekera 315
Schwerbenetzbarkeit eines Bodens. Ursachen für die — . . 287
Stadtwingert Versuche mit der Rebsorte — 176
Stahleisenschlacke. Kalkgehalt der — 11
Stallmist zur Düngung von Hackfrüchten 212
— als langsamfließende Stickstoffquelle 383
Stamm, I.: Kongorot als Reagens auf Borsäure 193
Standardmethode. Gefäßversuch als — 111
. Vergl. mit chem. Prüfungsmethoden 116
Standfestigkeit der Sorten. Einfluß auf die Lagerfälle . . . 220
Steckrübe. Einfluß von Kupferschlacke und $CuSO_4$ auf den Ertrag der — 166, 167
Steigerungsversuche der N-Staffelung 109, 210
Stettbacher, A.: Colorimetr. Borbestimmung 184, 193
Stickstoff. Einfluß auf die CO_2-Produktion 359, 360, 361, 366, 369
— als genotypisches Wesensmerkmal 133
—. Grenzverbrauch von - 132, 137
—. Bestimmung von organ. gebundenem — in nitrathaltiger Pflanzensubstanz . 196, 197, 198
—. Phenolschwefelsaure zur Bestimmung von Gesamt-— . . 197
— als Ursache biolog. Tätigkeit 77
— als Wachstumsfaktor 130, 133, 136
—. Wirkungswert des — . 136, 137

Stickstoffabbau in den Wurzelresten bei Graseinsaat . . . 375
Stickstoffanteil der Wurzeln an der oberirdischen Masse . . 378
Stickstoffanwend., wirtschaftliche, im Weizenbau 211, 214, 223
Stickstoffaufnahme der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Düngung 50
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch Kalisalzdüngung. 50, 51, 52, 53
— der Fichtennadeln. Beeinfl. durch die Phosphorsäureversorgung des Bodens . . . 69, 70
— der Pflanzen 138
Stickstoffausnutzung der in % gedüngten Mengen 138
— auf versch. Bodenarten . . . 102
— bei Lärche 101
Stickstoffbedürftigkeit. Bestimmung mit chem. Methoden . . 109
— versch. Böden 115, 116
— einiger Holzarten . . 87, 88, 101
Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl 116, 195, 196
— bei Nährstoffversuchen mit versch. Holzarten 88
— in nitrathaltigen Pflanzen . 194 ff.
Stickstoffdünger. Ammoniakdünger als — 201
—. Kalkammonsalpeter als — . 372
—. Kalksalpeter als — 201
—. Leuna-Montan als — . . . 201
—. Nitrophoska als — 201
Stickstoffdüngungsversuche zu Getreide . . . 198, 199, 208, 223
—. Einfl. auf den Kornmehrertrag bei Weizenanbauversuchen . . 223
—. Einfluß auf die Lagerung des Weizens 219, 222, 224
—. Wirtschaftl. der — 206, 207, 210, 219
—. Wirtschaftlichkeit der — in Lagerjahren 223
—. Einfluß auf die Masse der erzeugten Trockensubstanz . . 357
—. Einfluß auf die Mehrerträge 130, 138, 203, 204, 205, 207, 209
—. Schwefelversorgung des Bodens durch — 231
—. Einfl. auf die Stickstoffleistung 203
—. Einfl. auf den Strohmehrertrag bei Weizenanbauversuchen . . 223
Stickstoffentzug. Berechnung des — 139
Stickstoff-Form. Ermittl. durch Nährstoffmangelversuche . . 202
Stickstoff-Fraktionen. Bestimmung versch. — in der Pflanze 194
Stickstoffgaben. Einfl. steigender — auf Güte und Ertrag einiger Zwischenfrüchte . . . 384
Stickstoffgehalt der Blätter . . 139
— des Bodens u. Stickstoffentnahme durch versch. Holzarten 110
— der Ernte, Ansteigen des prozentualen — mit höherer Düngergabe 137
— der Zuckerrübe 134
Stickstoffkalkphosphat. Bewertung der Phosphorsäure im — 225
—. Kornerträge bei Düngung mit — 227, 229
—. Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit — . . . 228, 229
—. Zusammensetzung des — 224, 226
Stickstoff-Leistung bei versch. Bodenarten 216, 217
—. Beeinflussung durch die Bodenreaktion 224
—. Beeinfl. durch versch. Faktoren 211
— versch. Gründüngungspflanzen 373, 382
versch. Hülsenfrüchte u. kleeartiger Pflanzen 370
— im Kartoffelbau . . . 198, 373
— bei Lager-Versuchen 222
— auf Grund der Stickstoffdüngung . . . 203, 205, 206, 208
—. Vergleich der — nach verschiedenen Vorfrüchten 212, 213, 214, 215
— beim Weizenanbau 209, 210, 211, 213, 217, 218, 219
Stickstofflöslichkeit des Bodens 51, 52, 53, 69, 70, 116
Stickstoff-Mangelerscheinungen bei Versuchen auf Waldboden 78, 80
Stickstoffquelle. Stallmist als langsamfließende — 383
Stickstoffsammelnde Pflanzen, Bodenaufschließungsvermögen 382
Stickstoff-Steigerungsversuche zu Weizen 208, 209, 210
Stickstoffumwandlung in Pflanzeneiweiß im Raps 380
Stickstoffverbindungen. Kreislaufprobleme d. leichtlöslichen — 341
—, leichtlösliche, mikrobiologische Beeinflussung — 343
Stickstoffverwertung versch. Bodenarten 216, 315
—. Einfl. der Bodenreaktion auf die — 217
—. Beeinfl. durch klimat. Besonderheiten 199, 223
Stickstoffzehrer. Mais, Raps, Sudangras, Sonnenblume, Wasserrübe als — 372
Stimulationswirkung geringer Kupfermengen 140
Stokessche Formel 263

Stolze. Methode zur Entfernung von Cu 141, 144, 155
Strecker, W.: Volumetrische Borbestimmung 178, 194
Strell, M.: Abwasserkläranlagen 303
Streuzersetzung. Podsolierung als Ursache schlechter — . . 77
Stroh, seine Bedeutung für die Humusversorgung 205
—. Bestimmung der Trockensubstanz des — 13, 14
Strohbildung. Beeinfl. durch Hüttenkalk 29
Strohertrag. Wirkung d. Branntkalkes auf den — 14, 15
—. Beeinfl. durch Eisenmangel 142
— der Gerste unter dem Einfluß von Sulfatdüngung . . . 238, 241
— bei Grunddüngung . . 204, 205
— unter der Einwirkung von Hochofenschlacken 22
—. Wirkung des Hüttenkalkes auf den — 14, 15
— bei versch. Kalkdüngg. 25, 26, 29
— d s Getreides bei Düngung mit Kupferschlacke und $CuSO_4$ 165, 166
— bei Düngung mit verschied. Phosphorsäuredüngern . 227, 229
— bei Stickstoffdüng. in Weizenanbauversuchen 223
— bei Versuchen über Urbarmachungskrankheit 145
—. Verhältnis zur Erntemehrarbeit 208
— bei Volldüngung 204, 205, 206, 207
Strohgewicht. Aufteilung in Nachschosser und reifes Stroh 162
— bei einem Versuch mit Kupferschlacke . . 159, 160, 161, 162
Strohverwertungspreis. Berechnung des — 207
Strubes Dickkopf für Weizenanbauvers. 201
Strubes Weißhafer als Versuchsfrucht 226
Struktur. Schwellenwert der — nach Sekera 315
— u. Textur als Bestimmungsfaktoren für den Wassergehalt 272
Strukturanalyse des Bodens . 304
—. Zur Kenntnis der Porengrößen 266
Strukturfaktor. Bestimmung d. — 266
— nach Vageler und Alten . . 315
Strukturveränderung d. Bodens 301
Strukturverhältnisse bei Riesel- und Naturland 271
Sudangras 372, 374, 377
—. Grünmassenerträge bei — . 377
—. Kartoffelerträge nach Wurzeldüngung mit — 376
—. Versuche mit als Versuchspflanze 370
Süchting, H.: Ernährungsverh. des Waldes 47, 72
—. Versuche über die Nahrstoffaufnahme versch. Holzarten . 117
—. Wirkung der Düngung auf Waldböden 72, 117
—. Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Bodenreaktion 255
Süßlupine. Beeinflussung durch Kupferschlacke 163
—. Ernteergebnisse der — bei Düngung mit Kupferschlacke und $CuSO_4$ 164
— als Gründüngungspflanze . . 384
—. Grünmassenerträge der — . 377
—. Milchleistung der — . . 378
—. Versuche mit — 372
Sulfate. Einfluß auf die Ernteerträge 240
—. Gehalt des Getreidekorns an — 238
— von Kalk und Magnesia als Düngemittel 231
—. Einfl. auf den Korn- u. Strohertrag 238, 240, 241
—. Einfl. auf die Phosphorsäureaufnahme 242
—. Einfl. auf den Phosphorsäuregehalt der Asche . . . 240, 241
—. Reaktionsverhältnisse der 240
Sulfatbestimmung mit $BaCl_2$-Lösung 246
Sulfite als störende Bestandteile bei der Borbestimmung 179, 183
—. Oxydation durch Perhydrol 187, 192
—. Zerstörung der — 186, 187, 193
Sullivan, E. C.: Volumetr Borbestimmung nach — 178
—. Schnellmethoden zur Glasanalyse 194
Superphosphat. Vergleich mit Algierphosphat 252, 253, 254, 255
— als Grunddüngung 33
—. Kornerträge bei Düngung mit — 227
—. Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit — . . . 228, 229
—. Wirkungswert der Phosphorsäure im — 225
—. Zusammensetzung des — . 226
Svalöfs Siegeshafer als Versuchspflanze 141
Tacke, B.: Wirkung versch. Rohphosphate auf Hochmoorboden 249, 255
Tätigkeit, Biologische. Stickstoff als Ursache der — 77

Taylor, W. C.: Volumetrische Borbestimmung nach —. . . 178
Taunusquarzit. Austauschazidität von — 250
Tausendkorngewicht bei Versuchen mit Kupferschlacke 159, 161, 162
Temperatur. Optimumgrenze der — 343
Temperaturtabelle eines Rieselandversuches 262
Tertiärsand. Kalibedürftigkeit von — 97, 105, 113
—. Phosphorsäurebedürftigkeit von — 101
—. Stickstoffbedürftigkeit von — 102, 114, 116
—. Versuche auf — 78, 79, 81, 82, 83, 86
Textur als Kennzeichnung des Bodens 263
Texturanalyse des Bodens . . 263
Textur und Struktur. Bedeutung für die Leistungsfähigkeit eines Bodens 262
— für Wassergehalt . . . 272
Thaddeeff, C.: Bestimmung der Borsäure als Borfluorkalium 177, 193
Thiosulfat. Reduktion mit — 194
Thomasmehl. Basische Wirkung des Kalkes im — . . . 235, 236
—. Gleichwertigkeit mit gewissen weicherdigen Rohphosphaten auf sauren Hochmoorboden 249
— als Grunddünger 234, 371, 373, 380
—. Kalkwirkung des — . . . 237
—. Kornerträge bei Düngung mit — 227, 229
—. Phosphorsäureaufnahme bei Düngung mit — . . . 228, 229
—. Vergleich mit Algierphosphat 252, 253, 254
—. Verminderung der Austauschazidität von Waldböden durch Thomasmehl 254, 255
—. Wirkungswert der Phosphorsäure im 225
—. Zusammensetzung von — 226, 228
Thomasroheisenschlacke. Kalkgehalt der — 11
Tisdall. Kobaltreagens nach 247, 248
Titration isolierter Borsäure . . 188
Titrationsbestimmung. Störende Bestandteile bei der — . . . 193
Titrationsmethode zur Borbestimmung. Auftretende Störungen bei der — . . . 188, 189
Tomate als schwefelbedürftige Pflanze 232
Tonerde im Hüttenkalk . . 16, 26
Tongehalt. Ermittlung aus der mechanischen Bodenanalyse . 266
Tonmergel. Wirkung auf die Durchlaufgeschwindigkeit . . 20
Tonschiefer. Absorptionsverhältnisse beim — 91
—. Austauschazidität von — . . 250
—. Kennzeichnung für — . . . 113
—. Stickstoffaufnahme verschiedener Holzarten auf — . 88, 102
— als Versuchsboden 75, 76, 78, 79, 81, 82, 83, 86
Tonteilchen im Rieselandboden 263, 264, 265
— als Wasserträger 270
Torf. Boranalysen in — . . . 178
Traubensorten. Versuche mit versch. — 172
Trichloressigsäure zur Trennung von Eiweißstickstoff und Nichteiweißstickstoff . . 194, 195
Trikalziumphosphat. Phosphorsäure als — in Rohphosphaten 249
Trockengewicht bei Versuchen mit Kupferschlacke 159, 160, 161, 164
Trockenmasse. Einfl. von Kaliphosphatdüngung auf die — bei Hülsenfrüchten und Kleearten . . . . 380ff.
Trockensubstanzbildung. Einfl. verschiedener Nährlösungen auf die CO_2-Produktion im Zusammenhang mit der — . . 356, 357
Trockensubstanz: CO_2-Verhältnis. Prüfung der Zusammenhänge . . . 353, 354, 359, 361
—. Einfluß von Kali auf das — 360, 361, 366, 368, 369
—. Einfluß von Licht auf das — 368
—. Relationswerte des Verhältnisses 360
—. Einfluß von Stickstoff auf das — . . . 360, 361, 366, 369
—. Einfluß der Wachstumsbedingungen auf das — 356
—. Einfluß der N-Wirkung auf die Masse der — 357, 358, 359
—. Nitratstickstoffbestimmung in der — 194
Trockensubstanzertrag an Senf 32
— bei N-Düngungsversuchen zu Runkelrüben 138
Trockensubstanzerzeugung 81, 131, 133
— bei Versuchen mit Fichte . . 82
Trockensubstanzgewicht in Korn und Stroh bei verschied. Kalken . . . 13, 14, 22, 25, 29
Trockensubstanzleistung bei Nährstoffvers. mit verschied. Holzarten 88

Trockensubstanzzahlen bei der Lupinenernte mit Kupferschlakkendüngung 164
Umsetzungsgeschwindigkeit des Kalziumsulfids im Hüttenkalk 1, 6
Umsetzungsprozeß zwischen Pflanze und Wurzel. Lichtabhängigkeit in nährstoffreichen und nährstoffarmen Medien . 362
Unkraut. Cu-haltige Beizmittel zur Bekampfung von — . . . 140
Untersuchungsmethoden, chem. Zur Bestimmung der Nährstofflöslichkeit 102, 103
Uranylazetat zur Natriumbest. . 247
Urbarmachungskrankheit. Erzeugung in absolut Cu-freien Wasserkulturversuchen . . . 154
—. Erzeugung durch mit HCl behandelter Acidum-huminicum nach Merck . . 145, 146, 154, 155
— in frischem u. getrocknetem Heidesand 149
—. Erzeugung in Gefaßvers. mit Cu-freien Nährsalzen 155
— auf Heidesand. Parallelität zw. Stärke der Krankheit u. Humusgehalt 147
—. Kupfer zur Heilung der 140, 148, 153, 155, 156
—. Typ. Zeichen der — . . . 142
—. Ursache der — . . . 139, 140
—. Eisen als Ursache für das Auftreten der 150
—. Der Giftstoff Gliedin im Heidehumus als Ursache der — . . 147
—. Stark zersetzter Heidehumus als Träger der — 147
—. Kupfermangel als Ursache der auf Heidesandboden 141, 154, 156
—. Mikrobielle Einflüsse als Krankheitsursache 140
—. Physiol. Störungen als Krankheitsursache 140
— verursacht durch Sauerstoffmangel in der Nahrlösung . . 140
—. Unzureichende Wasserversorgung als Ursache der — . . 140
—. Verbreitung der — 156

Vageler, P.: Kationen- und Wasserhaush. d. Mineralbodens 370
— **u. Alten:** Bestimmung des Strukturfaktors 315
—. Boden des Nil u. Gash 128, 367, 370
Várallyai: Sigmondmeth. n. — 341
Vassiliades, Ch.: Schnellverdrangungsmethode des absobierten Kalziums 248
Vastagh, G.: Quant. Bestimmung der Borsaure . . . 182, 192, 193
Vegetationssand. Borbest. in — 178, 184
Verbrennungsanalyse fur C-Bestimmungen 121
Verbrennungswärme entspricht dem Oxydationswert 119
Verdauliches Eiweiß der Grünmasse bei versch. Zwischenfr. 377
—. Notwendige Menge — zur Milcherzeugung 377
— im Raps 380
Verdunstungsschrank 313
Versäurung in der oberen Mineralbodenzone 77
Versuchsfrüchte. Gerste als — 13, 24, 25, 29, 33
—. Kartoffel als — 11
—. Roggen als — 11
—. Rubsen als — 23
. Senf als — 32
. Zuckerruben als — 10
„**Vertex**“-Kontakt-Thermometer zur Warmeregulierung . . . 313
Verwitterungsgrad. Untersuchungen uber den 78
Volldüngung. Einfl. auf die Erträge bei versch. Holzarten . 84
—. Einfluß auf die Kaliaufnahme der Kiefer 93, 96
—. Einfluß auf den Kaligehalt in der Larche. 91, 93
—. Korn·Strohverhaltnis bei — 202, 203 ff.
. Einfl. auf den Mehrertrag an Phosphorsaure bei verschied. Holzarten 109
—. Ausgleichende Wirkung bei ungekalktem, sauren Boden . 87
Vollsättigungsgefäß 308, 310, 314
Volumenbestimmung der festen Bodenteilchen 315
Volumengewicht d Bodenprobe 261
Volumenvermehrung der Hochofenschlacke infolge hydraulischer Beschaffenheit 20
Volumetrische Bodenprobenentnahme nach Hey, Janert und Mitscherlich 326, 340
· Borbestimmung . 178, 179, 192
Vorfrüchte. Hackfrüchte als 200
—. Lagerversuche nach verschiedenen — . . . 219, 220
—. Leguminosen als . . . 200
—. Einfl. auf die Stickstoffleistung 211
—. Einfl. auf die Wirtschaftlichkeit 215
Wachstum bei Volldungung . . 112
Wachstumbedingungen fur Erträge 139
—. Festsetzung idealer — . . . 132

Wachstumsfaktor 129, 130, 131, 132, 133, 135, 136
—. Abhängigkeit des Pflanzenertrages von sämtlichen — . . 139
—. Einfl. auf die Eiweißbildung 194
—. Ertrag als Variable des — 129
—. Stickstoff als — . . . 133, 136
—. Wirkungsfaktor des — . . 134
—. Wirkungsgesetz der — . . 132
Wachstumsgesetz nach Mitscherlich . . 129, 133, 134, 135
Wachstumsstörungen verursacht durch physikal. Bodenverhältnisse 305
Wachstumsverhältnisse. Einfluß versch. — auf das Trockensubstanz : CO_2-Verhältnis 356, 360
Wachstum der Holzarten. Abhängigkeit von der Reaktion und den Nährstoffen des Bodens 77
— der Pflanzen. Beeinfl. durch äußere und innere Verhältnisse 131
Wärme. Einfluß auf die Aktivitat der Bodenmikroorganismen 343
Wärmeregulierung mit dem „Vertex“-Kontakt-Thermometer 313
Wagner, A.: Quellung der Hochofenschlacke 20, 23, 34
Wald. Ernährungsverh. des — 72
Waldböden. Gehalt an zitronensaurelösl. Phosphorsaure . . 251
—. Bedeutung der oberen Zone für den — 76, 77
—. Chem. Untersuchung versch. 253
—. Chem. Wirkungsfaktoren d. — 73
—. Kalibedürftigkeit der . 36
—. Mikrobiologie des — . . . 352
—. Bestimmung der Nährstoffgüte von — 36, 112
—. Phosphorsaurebedürftigkeit d. Waldböden 251, 256
—. Reaktionsverh. der . . . 73
Waldbodenschicht. Gütemerkmale der oberen — . . . 73, 78
Wandrowsky, B.: Beitrag zur Humusbestimmung 128
Wasseraufnahme bei Naturland- und Rieselboden . . . 289
—. Zeitl. Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme . . . 307, 308
— der Schlacke. Beziehungen zur Quellung 22, 23
Wasseraufschlämmung nach d. Ernte. pH in der — 230
Wasserbeweglichkeit im Boden 304
Wasser-Boden-Luftverhältnis bei Riesel- und Naturland 274, 275
Wasserdampferzeugungsapparatur. Beschreib. einer — 243
Wasserdampfmethode zur Verdrängung absorbierter Kationen 243, 248
Wasserdynamik. Untersuchung der — 313
Wassergehalt. Einfl. auf die Nitrifikation 349
—. Einfluß auf die Durchlüftung des Bodens 285
— in Porenvolumen 276
—. Bestimmt durch Textur und Struktur 272
— des Bodens Ermittl. des 306, 346
—. Optimumgrenze des — für Bodenmikroorgan. 344
— versch. Böden bei Riesel- und Naturland 273, 302
Wasserentziehung. Beeinfl. der Adsorptionskraft des Bodens durch — 154
—. Einfl. auf das kolloidale Gefüge der Moorsubstanz . . . 154
Wasserergiebigkeit. Feststellung der — 312
Wassergehaltsschichtlinien u. Luftdurchlassigkeit bei Natur- und Rieselland . . . 279, 280 ff.
Wassergehaltsbestimmung aus Frisch- und Trockengewicht . 308
Wassergewichtskurven zur Darstellung der Feuchtigkeitsverteilung im Boden 274
Wasserhaltefähigkeit durch Schaffung enger Poren 269, 270, 271, 272, 277
Wasserhaushalt des Bodens, Einfl. auf die Produktivitat des Handelsdungerstickstoffs . . 216
— und Kationenhaushalt des Mineral-Bodens 370
— Messung des — im Boden 324
Wasserkapazität. Bestimmung der — 306, 311, 344
— von Heidesandboden . . . 158
—, kleinste — 307, 308, 309, 316, 317, 321
—, meßbare im Boden . . . 304
Wasserkultur. Versuch zum Studium der Jugendchlorose von lupinus luteus . . . 71, 75, 76
Wasserlösl. Kupfer. Bestimmung in getrockneten und ungetrockneten Böden . . 151, 152
Wasserrübe. Gründüngungsversuche mit — . . . 372, 374, 377
—. Grünmassenerträge bei der — 377
—. Stellung der — in der Gruppe der Nichtleguminosen . . . 371
—. Wurzelnutzung der — als Zwischenfruchtpflanze 374
Wasserstoffsuperoxyd. Zur Oxydation der Sulfite 192

Wasserverhältnisse des Bodens als Maßstab für seine Güte . 73
Wasserversorgung des Bodens, Einfl. auf die Fichtenverluste 43, 69
—, unzureichende, als Ursache der Urbarmachungskrankheit . 140
Weber, O.: Veränderungen des Bodens durch Abwasser . . 303
Weicherdige Rohphosphate . . 249
Weinbergsböden. Arsengehalt von — . . . . 169 ff.
—. Bodenuntersuchung der — . 170
—. Kalkgehalt der — . 172, 173 ff.
—. pH-Wert der — 172, 173, 174, 175, 176
Weinsäurelösung. Borgehaltsermittlung aus dem Dehnungsvermögen einer wäßr. — . . 178
Weißbuchenwald. Versuche über Mikroorganismentätigkeit in — 341
Weißseuche, siehe Heidemoorkrankheit und Urbarmachungskrankheit
Weizen, Heines II, als Versuchspflanze 2, 5, 6
—. Reaktionsansprüche des — 218, 244
Weizenagrotyp 133
Weizenanbaugebiete. Bodenverhältnisse der deutschen — 199, 200
Weizenanbauversuche. Grunddüngung beim — 201
—. Einfluß der N-Düng. auf den Korn- u. Strohmehrertrag bei — 223
Weizenbau. Leistung des Stickstoffs im — 198, 208, 209, 216, 218, 219
—. Wirtschaftl. Stickstoffanwendung im — 223
Weizenertragsfähigkeit versch. Bodenarten 215
Weizenlagerung. Beeinfl. durch Stickstoffdüng. 219
Weizensorten:
Carstens V 201
Criewener 104, 201
Langs Traublinger 201
Salzminder Standard 201
Strubes Dickkopf 201
Weyl, Th.: Handbuch der Hygiene 303
Westerwoldsches Raygras, Gründüngungsvers. mit — 372, 374, 377
Wicken als Gründüngungspflanze 383
Wilhelmshöhe. Versuche mit der Rebsorte 176
Willcox. Borbestimmung . 182, 194
Willcoxsche Formel . . 135, 136
Winterroggen als Versuchsfrucht 11
—. Ernteerträge bei Düngung mit Kupferschlacke 165, 166
Wirkungsfaktor des N-Wachstumsfaktors 130, 134
— für jeden Pflanzenwachstumsfaktor 129, 130
—. Chemischer — der Waldböden 73
Wirkungsgesetz. Mathematische Darstellung des — . . 130, 132
— der Wachstumsfaktoren 132, 134, 135
Wirkungsreihe der Huttenkalke 15
Wirkungswert d. Phosphorsäure verschiedener Dünger. . . . 225
— des Stickstoffs 136, 137
Wirtschaftliche Einflüsse auf die Stickstoffverwertung . . . 223
Wirtschaftlichkeit der Stickstoffdüngung 205, 207, 208, 210, 211, 223
— der N-Düngung in Lagerjahren 223
— der N-Düngung. Beeinflussung durch die Vorfrucht 215
— verschieden hoher Düngergaben 208, 209, 210
Witterung. Einfl. auf das Lagern 220, 221, 222, 224, 225
Witterungsverhältnisse. Einfl. auf die Fichtenverluste . . . 43
— bei Weizenanbauversuchen . 201
Wityn, I.: Über die bessere Ausnutzung der im Boden befindl. Phosphorsäure 249, 255
Wollny, E.: Untersuchungen über die kapillare Leitung des Wassers im Boden 307, 325
Wrangell, v.: Estland. Rohphosphat und seine Wirkung auf versch. Pflanzen . . . 251, 255
—. Gesetzmäßigkeiten bei der Phosphorsäureernährung der Pflanze 256
—. Phosphorsäureaufnahme und Bodenreaktion 250, 255
Wuchsfaktor. Kupfer als — . 155
Wuchshemmung infolge Kalidüngung auf Quarzit 107
Wuchsleistungen verschulter Fichten 36
—. Hemmung durch die Reaktion des Muschelkalkbodens . . . 84
— versch. Holzarten in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung 73, 117
— der Holzarten, Verminderung durch Humusbildung 77
—. Beeinfl. durch Kalidüngung 113
— Beeinflussung durch Kalkung 85
Wuchssteigerung durch Kupfersulfat 140
Wurzeln. Stickstoffanteil der — an der oberirdischen Masse . 378

Wurzelausbildung. Beeinflussung durch Bodensäure . . 5, 6
—. Beeinflussung durch Kalkzusatz 5
Wurzelgewichte beim Gründüngungsversuch 373
Wurzelgründüngung. Kartoffelerträge nach 376
Wurzelentwicklung verschied. Gründüngungspflanzen im Verhältnis zur oberirdischen Masse 375, 376
Wurzelnutzung der Wasserrübe als Zwischenfruchtpflanze . . 374

Xylenol. Zur Nitratstickstoffbestimmung 197
—. Umwandlung in Nitroxylenol 195

Zeitkurven für die Aufnahme von Wasser durch eine bestimmte Bodenmenge 289, 290
Zellulose. Beeinfl. d. Salzsaure 144
—. Gehalt im Schlamm 258
Zink. Wirkung als Spurenelement 139
Zinkgehalt der Kupferschlacke . 156
Zinkstaub. Reduktion mit — . 19
Zinksulfat als Nährlösung . . 141
Zinzadze: Nährlösung nach — 141
Zitratlösliche Phosphorsäure. Gehalt versch. Düngemittel an — 226, 228
Zitronensäure für Bodenauszüge 74, 103
Zitronensäuremethode zur Phosphorsaurebestimmung . . 116
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure. Gehalt verschied. Düngemittel an — . 108, 226, 228
— Gehalt der Waldböden an — 251
Zuckerrübe. Erträge der russischen 134
—. Stickstoffgehalt der . . . 134
— als Versuchsfrucht 7, 10
— als Vorfrucht 200
Zunker, F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser 305, 307, 325
Zwischenfruchtbau. Einfluß von Kaliphosphatdüngung auf die Massenentwicklung N-sammelnder Pflanzen im — . 381
Zwischenfruchtpflanzen. Grünmassenertrage versch. — . . 377
Zwischenfrüchte. Nährstoffaufschließende und nahrstofferhaltende Wirkung der — 282
—. Einfluß steigender N-Gaben auf Ertrag und Ernte einiger — 384
—. Wirtschaftliche Bedeutung des Anbaus von — 379
Zylinder-Entnahmen. Untersuchungsergebnisse der — 316, 317, 318
Zylindermethode. Bodenprobenentnahme nach der — . 311, 315, 316, 329 ff.
— nach Kopecky 311
Zylinderprobe z. Bodenentnahme unter Wahrung der Struktur 306, 315

Das Verhalten des Hüttenkalks im Boden.

Von **G. Wimmer, H. Lüdecke** und **G. Hüllweck**[1]).
Berichterstatter: G. Hüllweck.
Mitteilung 94 der Anhaltischen Versuchsstation Bernburg,
Staatliche Landwirtschaftliche Forschungs- und Untersuchungsanstalt.
Eingegangen: 4. November 1938.

Im Sonderheft 8 des „Forschungsdienstes" (1938) berichtet Elbert über die im Rahmen des Arbeitskreises II/13b unter seiner Federführung im Jahre 1936 an elf Instituten durchgeführten Versuche mit Hüttenkalk und gibt eingangs eine Übersicht über das zu diesem Zeitpunkt vorliegende Schrifttum über Hüttenkalkversuche. Es erübrigt sich daher, an dieser Stelle nochmals darauf einzugehen. Im folgenden sei kurz über das Ergebnis der in Bernburg, insbesondere 1937, weiter durchgeführten Versuche berichtet.

I. Laboratoriumsversuche.

Die Laboratoriumsversuche mit Hüttenkalk erstreckten sich auf die Prüfung folgender Fragen:

1. Neutralisationswirkung des Hüttenkalks in verschiedenen Bodenarten.
2. Prüfung der Schädlichkeit des Kalziumsulfids im Hüttenkalk.
3. Umsetzungsgeschwindigkeit des Kalziumsulfids im Hüttenkalk in verschiedenen Bodenarten.

Da uns anfangs nicht die erforderlichen sauren Böden zur Verfügung standen, wurden zunächst Vorversuche mit einem Sandtorfgemisch pH (KCl) 5,08, einem lehmigen Sand pH (KCl) 6,16 und einem humosen Lehm pH (KCl) 6.30 ausgeführt. Als Versuchsfrucht diente Roggen. Im ganzen wurden 36 Neubauergefäße angesetzt. Die Durchführung der Versuche und die Ergebnisse waren ähnlich wie beim Hauptversuch. Wir sehen daher von der Beschreibung dieser Versuche ab und berichten nur über die Hauptversuche.

Ausführung der Versuche.

Für sämtliche Versuche wurde der vom Forschungsdienst zur Verfügung gestellte Hüttenkalk Hoesch 4916/4923 benutzt. Die Untersuchung ergab: Basisch wirkende Bestandteile 47,3% CaO; 2,21% Gesamt-S, davon 0,27% S als Sulfat und 1,94% S als Sulfid, entsprechend 4,36% CaS. Die Aufschlämmung von 20 g Hüttenkalk in 50 ccm KCl-Lösung bzw. Wasser ergab folgende Werte: pH (KCl) = 9,35; pH (H_2O) = 9,30.

Der Zusatz an Hüttenkalk betrug bei allen Versuchen je 100 g Boden 0,33 g und 1,00 g, also 1 g und 3 g je Gefäß mit 300 g Boden. 0,33 g Hüttenkalk je 100 g Boden entspreche n 100 dz Hüttenkalk je ha bei 20 cm Krumentiefe (= 47 dz CaO). Diese hohe Gabe und die noch höhere von 1 g (= 300 dz Hüttenkalk) wurden augewandt, um etwa auftretende Pflanzenschädigungen deutlicher erkennen zu lassen. Aus diesem Grunde und um die Neutralisationswirkung bei den verschiedenen Bodenarten besser vergleichen zu können, wurden bei allen Böden die gleichen Mengen Hüttenkalk zugegeben und nicht die auf Grund der Azidität zwecks Neutralisation erforderlichen Mengen.

Versuchsanordnung. Vgl. Zusammenstellung 1.

Es wurden acht verschiedene Böden verwendet. Die Böden I—V waren lufttrocken und durch ein 2-mm-Sieb gesiebt, die Böden VII und VIII waren feucht. Bei der Aufstellung des Versuchsplanes mußte berücksichtigt werden,

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/13b. Federführung: Direktor Dr. Elbert, Münster.

daß von einigen Bodenarten nur kleine Proben zur Verfügung standen. Im ganzen wurden 98 Neubauerschalen angesetzt, und zwar blieben 37 mit je 100 bzw. 50 g Boden unbepflanzt und 61 mit je 300 g bzw. 200 oder 150 g Boden wurden mit Weizen, Gerste oder Roggen bepflanzt. Keimfähigkeit und Triebkraft des Weizens (Heines II) und der Gerste (Friedr. Werther) waren gut, dagegen betrug die Triebkraft des Roggens (Petkuser) nur 84%. Die Körner wurden mit Germisan gebeizt.

Der Hüttenkalk wurde gleichmäßig auf die Bodenoberfläche gestreut und mit der obersten Bodenschicht gut vermischt. In den bepflanzten Gefäßen wurden je 50 Körner in das Boden-Hüttenkalk-Gemisch gelegt. Sämtliche Gefäße wurden während der Versuchsdauer auf 20—30% Feuchtigkeit je nach der Bodenart gehalten. Bei den Böden I—V wurden alle Versuche mit zwei Kontrollen angesetzt. Nach 20 Tagen wurden die Pflanzen geerntet und gezählt. Die Böden wurden auf Sulfidgehalt geprüft, ferner wurde die pH-Zahl und teilweise auch die Azidität bestimmt.

Zusammenstellung 1. Versuchsplan.

Bodenart	Kalk je 100 g Boden g	pH (KCl) beim Ansetzen	Gefäß Nr.		Gefäß Nr.		Gefäß Nr.	
I.	1	7,48	1/2	Unbe-	31/32	Wei-	61/62	Gerste
Humoser Lehm	0,33	7,00	3/4	pflanzt	33/34	zen	63/64	
	0	6,55	5/6		35/36		65/66	
II.	1	8,60	7/8	Unbe-	37/38	Wei-	67/68	Gerste
Lehmiger Sand	0,33	7,94	9/10	pflanzt	39/40	zen	69/70	
	0	6,35	11/12		41/42		71/72	
III.	1	7,10	13/14	Unbe-	43/44	Wei-	73/74	Rogg.
Lehmiger Sand	0,33	6,16	15/16	pflanzt	45/46	zen	75/76	
	0	4,70	17/18		47/48		77/48	
IV.	1	5,90	19/20	Unbe-	49/50	Wei-		
Stark anmooriger	0,33	5,24	21/22	pflanzt	51/52	zen		
Sand	0	4,85	23/24		53/54			
V.	1	6,45	25/26	Unbe-	55/56	Wei-	79/80	Rogg.
Schwach an-	0,33	5,25	27/28	pflanzt	57/58	zen	81/82	
mooriger Sand	0	4,65	29/30		59/60		83/84	
VI.	2	4,46	85	Unbe-			92	Rogg.
Stark anmooriger	1	3,90	86	pflanzt			93	
Sand	0	2,20	87				94	
VII.	1	5,00	88	Unbe-			95	Rogg.
Hochmoorboden	0	3,95	89	pflanzt			96	
VIII.	1	5,70	90	Unbe-			97	Rogg.
Niederungsmoor-	0	4,54	91	pflanzt			98	
boden								

1. Neutralisationswirkung.

a) Böden I—V. Vgl. Zusammenstellungen 2a und 3.

Vor dem Ansetzen der Gefäße wurden in den Böden I—V die Bodenreaktion, die Austausch- und die hydrolytische Azidität bestimmt. Die Böden I und II mit fast neutraler Reaktion zeigten keine Austauschazidität und nur geringe hydrolytische Azidität. Die Böden III—V mit stark saurer Reaktion wiesen nur eine geringe Austauschazidität auf. Die hydrolytische Azidität war am stärksten bei dem stark anmoorigen Boden IV. Nach der Ernte wurde die Azidität nur in den mit Weizen bepflanzten Böden bestimmt. Bei

Zusammenstellung 2a. Bodenreaktion pH (KCl).

	g Kalk je 100 g Boden											
	beim Ansetzen			nach der Ernte								
				unbepflanzt			Weizen			I und II Gerst III u. V Rogge		
	0	0,33	1	0	0,33	1	0	0,33	1	0	0,33	1
I. Humoser Lehm	6,55	7,00	7,48	6,89	7,41	7,80	6,83	7,33	7,60	6,83	7,30	7,4
II. Lehmiger Sand	6,35	7,94	8,60	6,62	8,14	8,48	6,61	8,00	8,23	6,56	7,83	8,0
III. Lehmiger Sand	4,70	6,16	7,10	4,65	7,01	8,32	4,67	6,74	7,55	4,67	7,01	7,8
IV. Stark anmooriger Sand	4,85	5,24	5,90	4,91	5,47	6,06	4,88	5,40	5,91			
V. Schwach anmooriger Sand	4,65	5,25	6,45	4,63	6,13	7,44	4,65	6,06	7,27	4,60	6,00	6,9

Zusammenstellung 2b. Bodenreaktion pH (KCl).

	g Kalk je 100 g Boden								
	beim Ansetzen			nach der Ernte					
				unbepflanzt			Roggen		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
VI. Stark anmooriger Sand	2,20	3,90	4,46	2,0	4,06	4,78	2,0	3,72	4,42
VII. Hochmoor	3,95	5,00	—	4,04	5,46	—	4,08	5,08	—
VIII. Niederungsmoor	4,54	5,70	—	4,54	5,70	—	4,56	5,66	—

der Bestimmung der Bodenreaktion nach der Ernte zeigten die pH-Zahlen der Kontrollen nur unwesentliche Abweichungen von höchstens 0,1—0,3 pH. Es wurden daher in der Zusammenstellung 2a die Mittelwerte eingesetzt.

Die pH-Werte der Böden ohne Zusatz „unbepflanzt“ und „bepflanzt“ sind praktisch gleich. Eine kleine Erhöhung der pH-Werte gegenüber den pH-Werten vor dem Ansetzen der Gefäße wurde nur bei den beiden fast neutralen Böden I und II festgestellt.

Der Boden in den unbepflanzten Gefäßen mit Kalkzusatz hatte nur in einigen Fällen einen etwas höheren pH-Wert als in den entsprechenden bepflanzten Gefäßen. Beim Vergleich der ursprünglichen pH-Werte der verschiedenen Bodenarten mit den pH-Werten der bepflanzten Böden mit Kalkzusatz nach der Ernte ergibt sich folgendes: Nach Zusatz von 0,33 g Kalk je 100 g Boden wurde der pH-Wert erhöht bei:

Boden I um 0,8, Boden IV um 0,6, Boden II um 1,6, Boden V um 1,4, Boden III um 2,2. Die geringste Wirkung trat also bei dem fast neutralen Lehmboden und bei dem sauren stark anmoorigen Boden ein, und die beste Wirkung wurde bei dem sauren lehmigen Sandboden III erzielt.

Durch die erhöhte Gabe von 1 g Kalk wurde der pH-Wert bei I und II um 0,2, bei IV um 0,4, bei III um 0,8 und bei V um 1,1 weiter erhöht. Die starke Gabe wirkte demnach hauptsächlich nur bei den stark sauren Böden.

Die Austauschazidität wurde schon durch einen Zusatz von 0,33 g Kalk in allen Bodenarten beseitigt. Die hydrolytische Azidität war im Boden II gleich 0, in den Böden I, III, V sehr gering und im stark anmoorigen Boden IV zwar stark vermindert, aber immer noch groß.

b) Böden VI—VIII. Zusammenstellung 2b.

Der stark anmoorige Sand und die beiden Moorböden zeigten ohne Kalkzusatz sehr stark saure Reaktion, die sich auch nach der Ernte praktisch nicht änderte. Die pH-Werte der Böden mit Kalkzusatz waren bei den unbepflanzten Gefäßen etwas höher als bei den bepflanzten Gefäßen. Bei den letzteren betrug die Erhöhung des pH-Wertes bei Zusatz von 1 g Kalk je 100 g Moorboden etwa 1,0. Die Wirkung war bei dem anmoorigen Boden besser, es trat eine Erhöhung des pH-Wertes um 1,7 bei 1 g Kalkzusatz und um 2,4 bei 2 g Kalkzusatz ein. Eine Neutralisation wurde in keinem Falle erreicht.

Zusammenstellung 3. Azidität.

Boden		Kalk je 100 g Boden g	pH (KCl)	Austauschazidität y_1	Hydrolyt. Azidität y_1
I. Humoser Lehm	Vor dem Ansetzen	0	6,55	0	5,0
	Nach der Ernte	0	6,88	0	2,9
	Nach der Ernte	0,33	7,36	0	1,9
	Nach der Ernte	1	7,60	0	1,5
II. Lehmiger Sand	Vor dem Ansetzen	0	6,35	0	2,5
	Nach der Ernte	0	6,64	0	2,3
	Nach der Ernte	0,33	8,00	0	0
	Nach der Ernte	1	8,16	0	0
III. Lehmiger Sand	Vor dem Ansetzen	0	4,70	0,3	8,0
	Nach der Ernte	0	4,84	0,5	8,5
	Nach der Ernte	0,33	6,74	0	4,0
	Nach der Ernte	1	7,46	0	2,5
IV. Stark anmooriger Sand	Vor dem Ansetzen	0	4,85	0,25	32,5
	Nach der Ernte	0	4,88	0,1	25,5
	Nach der Ernte	0,33	5,50	0,05	20,5
	Nach der Ernte	1	5,88	0	14,0
V. Schwach anmoorig. Sand	Vor dem Ansetzen	0	4,65	0,9	14,0
	Nach der Ernte	0	4,64	0,8	12,6
	Nach der Ernte	0,33	6,04	0	7,5
	Nach der Ernte	1	7,30	0	3,3

2. Prüfung der Schädlichkeit des Kalziumsulfids im Hüttenkalk. Zusammenstellung 4.

Böden I—V.

Keimung, Aufgang und Wachstum waren in allen Gefäßen normal, ein schädlicher Einfluß des Hüttenkalkes war nicht zu bemerken. Einige Pflanzen ohne Zusatz waren etwas kleiner als die übrigen. Die Wurzelbildung war ebenfalls normal. Die Anzahl der geernteten Pflanzen (Mittel aus zwei Kontrollen) ist

Zusammenstellung 4.
Anzahl der nach 20 Tagen geernteten Pflanzen.

Boden	g Kalk je 100 g Boden	Anzahl der Pflanzen (davon kleine)		Anzahl der Pflanzen (davon kleine)	
I.	1	48 (1)	Weizen	49	Gerste
Humoser Lehm	0,33	48 (1)	„	50	„
	0	49 (1)	„	49 (2)	„
II.	1	48 (1)	„	47 (1)	„
Lehmiger Sand	0,33	50 (1)	„	49	„
	0	49 (2)	„	46 (3)	„
III.	1	49 (1)	„	40	Roggen
Lehmiger Sand	0,33	48 (2)	„	36 (1)	„
	0	49 (1)	„	37 (1)	„
IV.	1	50 (1)	„		
Stark anmooriger	0,33	49	„	—	—
Sand	0	50	„		
V.	1	50 (1)	„	42 (1)	Roggen
Schwach anmoorig.	0,33	49 (1)	„	41 (1)	„
Sand	0	49 (2)	„	42 (1)	„
VI.	2			40 (5)	„
Stark anmooriger	1	—	—	39 (11)	„
Sand	0			16 (16)	„
VII.	1	—	—	36 (2)	„
Hochmoorboden	0			45	„
VIII.	1	—	—	42	„
Niederungsmoor-	0			42 (3)	„
boden					

aus der Zusammenstellung 4 zu ersehen. Nimmt man das Mittel aus den bei den fünf Bodenarten geernteten Pflanzen mit 1, 0,33 und 0 g Kalkzusatz, so erhält man bei Weizen je neunundvierzig Pflanzen (1, 0,33, 0 g), bei Gerste achtundvierzig (1 g), fünfzig (0,33 g), achtundvierzig (0 g) und bei Roggen einundvierzig (1 g), neununddreißig (0,33 g), vierzig (0 g). Die Zahlen bei Roggen sind normal, wenn man die geringere Keimfähigkeit des benutzten Roggens berücksichtigt. War also einerseits keine Schädigung durch den Hüttenkalk festzustellen, so waren auch andererseits keine Schädigungen durch die saure Bodenreaktion eingetreten.

Böden VI—VIII.

Unter Berücksichtigung der geringeren Keimfähigkeit des Roggens war das Wachstum der Pflanzen und die Wurzelausbildung bei den beiden Moorböden mit und ohne Kalkzusatz normal. Die Anzahl der geernteten Pflanzen war nur bei Nr. VII (mit 1 g Kalk) etwas geringer, nämlich sechsunddreißig. Die Pflanzen in dem stark anmoorigen Boden VI waren alle in der Keimung, im Wachstum und in der Wurzelausbildung zurückgeblieben. Hier zeigten sich deutliche Schädigungen durch

die Bodensäure, denn von den fünfzig Körnern ohne Kalkzusatz waren nur sechzehn aufgegangen, und die Pflanzen blieben ganz klein. Beim höchsten Kalkzusatz (2 g je 100 g Boden) war die Entwicklung der Pflanzen besonders gut.

3. Umsetzung des Kalziumsulfids in Hüttenkalk im Boden.

Nach der Ernte wurden die mit Hüttenkalk versetzten Böden in den Gefäßen auf CaS geprüft. Sämtliche Böden entwickelten mit Salzsäure reichlich Schwefelwasserstoff. Eine nennenswerte Umsetzung des Kalziumsulfids wurde demnach nicht festgestellt.

In drei verschiedenen Böden (Sandtorfgemisch, humoser Lehm, lehmiger Sand), die acht Monate lang ständig feucht gehalten wurden, konnte auch nach dieser Zeitdauer keine Umsetzung des Kalziumsulfids in Hüttenkalk nachgewiesen werden.

Kurze Zusammenfassung.

Mit acht verschiedenen Böden wurden in Neubauergefäßen Keimpflanzenversuche über die Einwirkung des Hüttenkalks auf Boden und Keimpflanze ausgeführt. Versuchsfrüchte waren Roggen, Weizen und Gerste. Die Pflanzen wurden nach zwanzig Tagen geerntet. Der Zusatz an Hüttenkalk betrug je 100 g Boden 0 g, 0,33 g, 1 g und in einem Falle 2 g. 0,33 g Kalk je 100 g Boden entsprechen 100 dz Kalk je ha bei 20 cm Krumentiefe.

1. Die Neutralisationswirkung ist abhängig von der Bodenart und dem Aziditätsgrad. Zu berücksichtigen ist dabei nicht nur der pH-Wert, sondern auch die Austausch- und die hydrolytische Azidität. Die geringste Wirkung zeigte sich im fast neutralen Lehmboden und im sauren, stark anmoorigen Sandboden. Hier erhöhte sich der pH-Wert nur etwa um 0,8 bzw. 0,6, und die dreifache Gabe an Kalk brachte nur eine Gesamterhöhung um 1 pH. Die Abhängigkeit der Wirkung von der Bodenart zeigte sich z. B. darin, daß bei dem fast neutralen lehmigen Sand die Erhöhung des pH-Wertes etwa das Doppelte betrug wie bei dem Lehmboden. Daß die Wirkung bei stark sauren Sandböden besser ist als bei weniger sauren Böden, ist aus den Versuchen zu ersehen. Die Erhöhung der pH-Werte betrug bis 2,2 (bei 0,33 g) bzw. 3,0 (bei 1 g). Bei den Moorböden war die Neutralisationswirkung nur gering (etwa 1 pH bei 1 g Kalkzusatz).

2. Eine schädliche Wirkung des Hüttenkalks auf die Keimung und das Wachstum der Pflanzen wurde nicht beobachtet. Die Zahl der geernteten Pflanzen war in siebenundfünzig Gefäßen normal, in drei Gefäßen fast normal und in einem Gefäß ohne Kalkzusatz sehr gering.

3. Die Umsetzung größerer Mengen Kalziumsulfids im Hüttenkalk konnte nach zwanzig Tagen in keinem Falle nachgewiesen werden. Ein besonderer Versuch ergab, daß in

drei verschiedenen Bodenarten, die mit Hüttenkalk vermischt wurden, nach acht Monaten keine beachtliche Umsetzung des Kalziumsulfids stattgefunden hatte.

II. Feldversuche.

Wie bereits Elbert (s. o.) mitteilte, konnte bei den im Jahre 1936 in Bernburg mit Zuckerrüben als Versuchsfrucht durchgeführten Feldversuchen trotz der vorhandenen schwach sauren Bodenreaktion nur bei einem der zwei Versuche eine schwache Kalkwirkung als solche festgestellt werden. Eine Schädigung des Aufganges oder der Erträge durch Hüttenkalk konnte in keinem Falle festgestellt werden. Bei den beiden 1937 angelegten Versuchen trat eine mehr oder minder große Ertragsteigerung nicht nur durch kohlensauren Kalk, sondern auch in gleichem und teilweise noch höherem Maße durch Hüttenkalk ein. Schädigungen im Aufgang wurden auch hier nicht beobachtet.

Wenn wir an dieser Stelle trotzdem auf eine ausführliche Wiedergabe der Ertragswerte und der Untersuchungsergebnisse der Ernteprodukte verzichten, so tun wir es, weil uns bei aller Deutlichkeit der günstigen Wirkung der berechnete mittlere Fehler zu groß erscheint, um aus diesen Versuchen nicht nur hinsichtlich der Erträge, sondern auch der Beeinflussung der Beschaffenheit der Zuckerrüben als solche weitgehende Schlüsse zu ziehen. Die erhaltenen Werte wurden seinerzeit dem Forschungsdienst zugestellt und können dort und auch in der Versuchsstation Bernburg auf Wunsch eingesehen werden.

Wir wollen uns an dieser Stelle nur mit dem Verhalten des Hüttenkalkes im Boden im Vergleich zu kohlensaurem Kalk befassen.

Versuchsplan.

Die Versuche wurden nach den „Richtlinien für Feldversuche mit Hüttenkalk“ des Arbeitskreises II/13b durchgeführt.

Das Ergebnis der Bodenuntersuchung der beiden zur Verfügung stehenden Versuchsfelder in Wörlitz und Luko ist aus der Zusammenstellung 5 zu ersehen.

Zusammenstellung 5.

Proben vom ganzen Schlag	Krume					Untergrund				
	Neubauer		pH (KCl)	Hydr. Azid. y_1	Austausch-azid. y_1	Neubauer		pH (KCl)	Hydr. Azid. y_1	Austausch-azid. y_1
	P_2O_5	K_2O				P_2O_5	K_2O			
Wörlitz	5,9	37,5	5,20	10,7	0	4,0	31,4	4,42	11,5	0,65
Luko	5,6	12,6	4,90	6,7	0,4	2,0	8,0	4,55	5,3	0,5

Bodenbeschaffenheit: Wörlitz, lehmiger Sand: Luko, schwach lehmiger Sand.

Die Teilstücke mit fünffacher Wiederholung der Vergleichsteilstücke waren je 100 qm groß. Alle Teilstücke erhielten folgende Grunddüngung je ha: 54 kg N als schwefelsaures

Ammoniak, 54 kg P_2O_5 als 18%iges Superphosphat, 99 kg K_2O als 40%iges Kalisalz und 32 kg N als Natronsalpeter (Kopfdüngung). Aus der in der Krume der Versuchsböden bestimmten hydrolytischen Azidität wurden die zur Neutralisation erforderlichen Mengen Hüttenkalk (mit 40% CaO) und 80%igem $CaCO_3$ berechnet. Die niedrigeren Kalk- und Hüttenkalkgaben betrugen 50% und die höheren Gaben 150% der berechneten Mengen.

Von sämtlichen Teilstücken wurden vor der Düngung und nach der Ernte Bodenproben von Krume und Untergrund genommen. Aus Kostenersparnisgründen wurden aus je 100 g der getrockneten und gesiebten Proben der fünf Vergleichsteilstücke Mischproben hergestellt und in diesen die pH-Zahl, die hydrolitische Azidität und der leichtlösliche Kalk nach Meyer bestimmt.

Feststellung der Neutralisationswirkung.

Versuch Wörlitz.

Die Untersuchung der fünfundzwanzig Teilstücke vor der Bestellung und Düngung ergab im Mittel folgende Werte pH (KCl) 5,2, hydrolytische Azidität 9,6 und leichtlöslicher Kalk nach Meyer 0,16% CaO in der Krume und pH (KCl) 4,6, hydrolytische Azidität 10,0 und leichtlöslicher Kalk 0,19% CaO im Untergrund. Die größten Abweichungen vom Mittelwert betrugen im pH-Wert 0,2 und 0,3 und in der hydrolytischen Azidität 1,0.

Zusammenstellung 6. Wörlitz.

Zusatz an $CaCO_3$ oder Hüttenkalk dz je ha		Krume			Untergrund		
		pH (KCl)	Hydr. Azidität y_1	Kalk nach Meyer % CaO	pH (KCl)	Hydr. Azidität y_1	Kalk nach Meyer % CaO
—	a	5,08	10,1	0,16	4,50	10,0	0,19
	b	5,00	10,1	0,14	4,66	11,0	0,16
37,4 dz	a	5,25	9,5	0,16	4,60	10,2	0,19
Hüttenkalk	b	5,66	7,9	0,17	4,74	10,9	0,14
111,2 dz	a	5,06	9,9	0,16	4,50	10,1	0,19
Hüttenkalk	b	6,16	6,4	0,22	4,68	11,1	0,13
30,1 dz	a	5,06	9,7	0,16	4,60	10,1	0,19
$CaCO_3$ 80 proz.	b	5,74	7,8	0,19	4,68	10,5	0,17
90,2 dz	a	5,42	8,6	0,16	4,90	9,8	0,19
$CaCO_3$ 80 proz.	b	6,56	5,4	0,34	4,94	9,8	0,16

Beim Vergleich der Bodenproben vor der Bestellung mit denen nach der Ernte soll zunächst nur die Krume berücksichtigt werden. Die nicht gekalkten Teilstücke zeigten nur eine geringe Abnahme des leichtlöslichen Kalkes. Die niedrigen Hüttenkalk- und Kalkgaben brachten eine Zunahme des pH-Wertes um 0,41 bzw. 0,68, eine Abnahme der hydrolytischen Azidität um

Bodenprobe a vor der Bestellung und vor der Kalkung, b nach der Ernte. Mischproben aus je 5 Vergleichsteilstücken.

Zusammenstellung 7. Luko.

Zusatz an $CaCO_3$ oder Hüttenkalk dz je ha		Krume			Untergrund		
		pH (KCl)	Hydr. Azidität y_1	Kalk nach Meyer % CaO	pH (KCl)	Hydr. Azidität y_1	Kalk nach Meyer % CaO
—	a	4,88	8,2	0,07	4,50	6,7	0,04
	b	4,70	9,2	0,05	4,42	7,8	0,03
25,1 dz	a	4,94	8,0	0,07	4,40	6,7	0,04
Hüttenkalk	b	5,06	7,9	0,06	4,50	7,8	0,03
75,6 dz	a	5,00	7,7	0,07	4,38	6,7	0,04
Hüttenkalk	b	5,64	6,8	0,10	4,80	6,0	0,05
22,5 dz	a	4,92	8,3	0,07	4 40	6,7	0,03
$CaCO_3$ 80 proz.	b	5,06	8,0	0,07	4,60	7,6	0,03
67,5 dz	a	5,20	7,8	0,07	4,42	6,7	0,05
$CaCO_3$ 80 proz.	b	5,74	6,9	0,13	4,70	7,3	0,05

1,6 bzw. 1,9 und eine geringe Zunahme des Kalkes. Die hohen Gaben verursachten eine Steigerung des pH-Wertes um 1,1 bzw. 1,14, eine Abnahme der hydrolytischen Azidität um 3,5 bzw. 3,2 und eine Zunahme des Kalkes um 0,06 bzw. 0,18% CaO. Hüttenkalk und Kalk hatten praktisch die gleiche Neutralisationswirkung. Eine Neutralisation wurde in keinem Falle erreicht, zur Erhöhung des pH-Wertes um etwa 1,1 pH waren 150% der berechneten Kalkmengen erforderlich.

Versuch Luko.

Der Versuchsboden hatte bei der Untersuchung vor der Bestellung im Mittel in der Krume einen pH-Wert von 5,00, eine hydrolytische Azidität von 8,0 und 0,07% CaO nach Meyer und im Untergrund einen pH-Wert von 4,4, eine hydrolytische Azidität von 6,7 und 0,04% CaO nach Meyer. Die größten Abweichungen vom Mittelwert betrugen beim pH-Wert 0,2 bzw. 0,3 und bei der hydrolytischen Azidität 0,26.

Die Untersuchung der Krume nach der Ernte ergab bei den nicht gekalkten Teilstücken eine geringe Abnahme des pH-Wertes und des leichtlöslichen Kalkes, die hydrolytische Azidität stieg um 1,0. Die niedrigen Hüttenkalk- und Kalkgaben brachten ein geringes Ansteigen des pH-Wertes um 0,12 bzw. 0,14, die hydrolytische Azidität und der Gehalt an leichtlöslichem Kalk änderten sich kaum. Erst die höheren Gaben bewirkten eine Erhöhung des pH-Wertes um 0,64 bzw. 0,54, eine Abnahme der hydrolytischen Azidität um 0,9 in beiden Fällen und eine Zunahme des Gehaltes an leichtlöslichem Kalk um 0,03 bzw. 0,06%. Die Neutralisationswirkung des Hüttenkalkes war also auch bei diesem Versuch der des kohlensauren Kalkes gleich.

Beim Vergleich der beiden Versuche ist zu berücksichtigen,

daß der Boden in Wörlitz ein stark lehmiger Sand mit 0,16% CaO (nach Meyer) und der Boden in Luko ein sehr schwach lehmiger Sand mit nur 0,07% CaO (nach Meyer) ist. Der Unterschied in den pH-Werten 5,2 bzw. 5,0 war nur gering, und die hydrolytische Azidität war im Wörlitzer Versuchsboden 9,6 und im Lukoer Boden 8,0. Diese Werte wurden in den Mischproben gefunden, die aus Einzelproben von den fünfundzwanzig Teilstücken hergestellt wurden. In bezug auf die hydrolytische Azidität zeigten diese Mischproben eine Abweichung von den vorher von den ganzen Schlägen entnommenen Proben, wie aus der Zusammenstellung 5 zu ersehen ist. Beide Versuche erbrachten den Beweis, daß selbst 150% der aus der hydrolytischen Azidität berechneten Kalkmengen nicht zur vollkommenen Neutralisation ausreichten. Die Neutralisationswirkung war bei dem Lukoer Boden nicht nur relativ, entsprechend der geringeren Kalkgabe, sondern auch absolut geringer als beim Wörlitzer Boden. Eine wesentliche Anreicherung mit leichtlöslichem Kalk erfolgte in beiden Böden nur bei der hohen $CaCO_3$-Gabe.

Der Untergrund wurde durch die Kalkung im allgemeinen nicht nennenswert beeinflußt, die hydrolytische Azidität blieb die gleiche oder nahm noch etwas zu, der Gehalt an leichtlöslichem Kalk nahm ab oder blieb der gleiche. Da die Kalkung selbst für die Krume nicht ausreichte, war eine Neutralisationswirkung im Untergrund nicht anzunehmen. Je nach der Beschaffenheit des tieferen Untergrundes kann jedoch bei wiederholter starker Kalkung früher oder später eine Beeinflussung des Untergrundes erwartet werden.

Zusammenfassung.

Bei den in den Jahren 1936 und 1937 mit Zuckerrüben als Versuchsfrucht durchgeführten vier Feldversuchen konnten selbst bei Hüttenkalkgaben bis zu 111 dz je ha keine Schädigungen im Aufgang oder im Ertrag festgestellt werden. Die 1937 ausgeführten Versuche ergaben durch kohlensauren Kalk und durch Hüttenkalk Ertragssteigerungen.

In zwei Versuchsböden (1937) wurden zwecks Feststellung der Neutralisationswirkung vor der Bestellung und nach der Ernte die pH-Zahl, die hydrolytische Azidität und der leichtlösliche Kalk nach Meyer bestimmt. Der Hüttenkalk hatte praktisch in allen Fällen die gleiche Neutralisationswirkung wie die entsprechende Menge kohlensauren Kalkes. Die Zusätze an Hüttenkalk und kohlensaurem Kalk betrugen 50 und 150% der aus der hydrolytischen Azidität berechneten Kalkmenge, die zur Neutralisation des Bodens erforderlich war. Es zeigte sich, daß selbst die hohen Hüttenkalk- und Kalkgaben eine vollkommene Neutralisation und Beseitigung der hydrolytischen Azidität nicht herbeiführen konnten. Bei den hohen Gaben stieg der pH-Wert in den beiden Böden um 1,1 bzw. etwa 0,6 und die hydro-

lytische Azidität nahm um 1,6 bzw. 0,9 ab. Eine wesentliche Zunahme des leichtlöslichen Kalkes wurde nur bei den hohen $CaCO_3$-Gaben festgestellt. Die bessere Neutralisationswirkung bei dem einen Boden ist nicht nur auf die höheren Kalkgaben, sondern auch auf die Bodenart zurückzuführen. Der Untergrund wurde im allgemeinen durch die Kalkung nicht wesentlich beeinflußt. [249]

Untersuchungen über die Düngewirkung des Hüttenkalkes.

H. Kappen, R. W. Beling, W. Utsch und **E. Pfingsten.**

Mitteilung aus dem Agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn.

Eingegangen: 4. Januar 1939.

A. Wirkung des Kalkes in Hüttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten.

Im Zusammenhang mit der Art der verhütteten Erze und mit der Art der zu erzeugenden Roheisengattung kann der Gehalt der Hüttenkalke an Kalk erhebliche Verschiedenheiten aufweisen. Die Hamatit- und Gießereiroheisenschlacken sind die kalkreichsten Hochofenschlacken; ihr Gehalt an CaO liegt zwischen 40—50%. Einen schon geringeren, zwischen 35—46% schwankenden Kalkgehalt besitzen die Thomasroheisenschlacken, und bei den Stahleisenschlacken können die Gehalte noch niedriger liegen. Der Kalkgehalt der Hüttenkalke stellt nun gewiß für ihre landwirtschaftliche Verwendbarkeit das Wesentlichste dar, denn in erster Linie sollen sie als Kalkdünger in der Landwirtschaft benutzt werden.

Mit Recht muß infolgedessen auch einmal die Frage aufgeworfen und experimentell behandelt werden, ob der Kalk in allen Hüttenkalken trotz ihrer verschiedenen Gehalte daran von gleicher Wirksamkeit auf Pflanze und Boden ist, oder ob etwa der Kalk in den kalkreicheren Hüttenkalken in einer besser wirkenden Bindungsform vorliegt als in den kalkärmeren. Die Möglichkeit, daß bei den Huttenkalken Wirkungsverschiedenheiten in Abhangigkeit von ihren Kalkgehalten bestehen, kann bei Betrachtung ihres chemischen Verhaltens keineswegs von vornherein verneint werden, denn die Zersetzlichkeit durch Säuren ist z. B. beim Dikalziumsilikat größer als beim Monokalziumsilikat. Dazu hatte sich auch schon bei Felddungungsversuchen, die vom Referenten in den Jahren 1930 und 1931 mit Huttenkalken von verschieden starker Basizität angestellt wurden[1]), ergeben, daß ein Hüttenkalk mit nur 39,7% CaO beim Anbau von Kartoffeln und Winterroggen in der Wirkung hinter kalkreicheren Huttenkalken mit 43,8--51,5% zurückgeblieben war. Es wurde damals hieraus der Schluß gezogen, daß der Kalk in den kalkärmeren Huttenkalken wahrscheinlich fester an den Silikatrest gebunden wäre, als in den kalkreicheren Hüttenkalken. Es spielte jedoch, was ebenfalls damals betont wurde, möglicherweise auch die gröbere Mahlung des kalkärmeren Hüttenkalkes für seine geringere Wirkung eine Rolle. Die aus den Felddüngungsversuchen gezogene Schlußfolgerung, daß die kalkreichen Hüttenkalke vor den kalkärmeren den Vorzug verdienten, mußte deshalb als nicht ausreichend gesichert betrachtet werden.

Wir glaubten infolgedessen der Frage nach der Festigkeit der Bindung des Kalkes in den Hüttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten noch weiter nachgehen zu müssen.

Die experimentelle Beantwortung der gestellten Frage läßt sich natürlich auf verschiedenen Wegen durchführen. Man kann in Gefäßdüngungsversuchen feststellen, was die gleiche Kalkmenge in der Form der verschieden zusammengesetzten Hüttenkalke bezüglich der Ertragssteigerung zu leisten vermag. Man kann dabei auch die von den Pflanzen aus den Hüttenkalken aufgenommenen Kalkmengen zur Beurteilung der Bindungsfestigkeit des Kalkes in den Hüttenkalken ausnutzen. Man kann weiterhin aus der neutralisierenden Wirkung, die von gleichen Kalkmengen in den verschiedenen Hüttenkalken ausgehen, auf die Festigkeit der Bindung des Kalkes zurückschließen, und man kann endlich auch noch auf Lösungsversuche, die an den Hüttenkalken unter Verwendung verdünnter und schwacher Säuren ausgeführt werden, das Urteil über die Festigkeit der Kalkbindung aufbauen.

Von diesen Möglichkeiten sind bei den folgenden Untersuchungen nur zwei, nämlich die ertragsteigernde Wirkung der Hüttenkalke und ihre Neutralisationswirkung, zur Aufklarung der Frage nach der Festigkeit der Kalkbindung herangezogen worden; die anderen Möglichkeiten sollen bei der Fortsetzung der Versuche noch ausgenutzt werden.

Die Gefäßdüngungsversuche, in denen wir die verschiedenen Hüttenkalke auf ihre ertragsteigernde und neutralisierende Wirkung prüften, wurden im Frühjahr 1937 angesetzt, also zu einer Zeit, in der die heute geltenden Bestimmungen uber den Handel mit Hüttenkalk noch nicht erlassen waren. Infolgedessen wurde bei der Bemessung der Gaben entsprechend der fur die Anstellung der Versuche maßgebend gewesenen Fragestellung nur der Kalkgehalt der Hüttenkalke zugrunde gelegt und noch nicht ihr Gesamtgehalt an basischen Stoffen (CaO + MgO). Die Kalk- und Magnesiumgehalte der verwendeten Hüttenkalke gehen im übrigen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

Hüttenkalke	I %	II %	III %	IV %	V %	VI %
CaO	46,9	45,3	43,6	43,4	39,0	34,2
MgO	4,9	4,6	4,3	5,0	3,3	8,7

In den Kalkgehalten der Hüttenkalke waren hiernach erhebliche Unterschiede vorhanden, so daß sie zur Beantwortung der gestellten Frage recht brauchbar sein mußten. Auch wenn der Gesamtgehalt an Kalk und Magnesia ins Auge gefaßt wird, erkennt man, daß erhebliche Verschiedenheiten unter den Huttenkalken im Gesamtbasengehalt vorhanden sind. Betont sei hierzu noch, daß die Summe der Werte von Kalk und Magnesia bei allen in den folgenden Versuchen verwendeten Hüttenkalken auch ohne molekularäquivalente Umrechnung der Magnesia auf Kalk oberhalb der für den Handel mit Hüttenkalken festgesetzten Grenze von 42% liegt. Es handelt sich also auch bei dem kalkärmsten Hüttenkalk VI infolge seines hohen Magnesiumgehaltes noch um ein zur landwirtschaftlichen Verwendung zugelassenes Produkt.

Eigentliche „saure“ Hochofenschlacken, wie sie in Zukunft nach der Umstellung der deutschen Eisenerzeugung auf die Verwendung von eisenarmen Inlanderzen in großen Mengen anfallen werden, sind zu den zunächst folgenden Versuchen noch nicht herangezogen werden.

Unsere Gefäßdüngungsversuche mit den oben in bezug auf ihren Kalk- und Magnesiumgehalt gekennzeichneten Hüttenkalken haben wir nun in 2 Reihen durchgeführt. In der einen Reihe wurden die Hüttenkalke in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung verwendet, in der 2. Versuchsreihe wurden dieselben Hüttenkalke benutzt, nachdem durch innige Vermischung mit den berechneten Mengen an Branntkalk ihr Kalkgehalt gleichmäßig auf 50% erhöht war. Bei der Durchführung dieser 2. Versuchsreihe ließen wir uns von dem Gedanken leiten, daß es doch möglicherweise im Interesse der Landwirtschaft liegen könne, ein in seinem Kalkgehalt stets gleichmäßiges Produkt zu erhalten. In beiden Versuchsreihen wurden die Hüttenkalkgaben, wie schon oben gesagt, ausschließlich auf Grund ihres Kalkgehaltes berechnet. Als Vergleichsdünger wurden gemahlener Branntkalk und gemahlener kohlensaurer Kalk in die Versuche einbezogen. Alle Produkte waren so fein, daß sie restlos durch das Thomasmehlsieb hindurchgingen.

Der zu den Versuchen benutzte Boden war der saure humose Lehmboden von Opladen, der auch sonst vielfach zu unseren Versuchen verwendet worden ist. Seine Aziditätswerte waren:

A. A. y_1	H. A. y_1	pH
7,0 ccm	29,0 ccm	4,38

Die Kalkgaben wurden für diesen Boden sowohl nach seiner Austauschazidität unter Verwendung des Faktors 3,5 (1. Gabe), als auch nach seiner hydrolytischen Azidität unter Verwendung des Faktors 3,0 berechnet (2. Gabe).

Ausgeführt wurde der Versuch in Mitscherlich-Gefäßen, die 6 kg des Opladener Bodens faßten. Die Grunddüngung wurde in Form von Nitrophoska gegeben; jedes Gefäß erhielt davon 3,0 g. Als Versuchspflanze wurde Sommergerste angebaut. Gedüngt wurde am 22./23. März 1937, gesät am 7. Mai 1937 und geerntet am 30. Juni 1937.

Die bei dem Versuch erzielten Ernten an Trockensubstanz von Korn und Stroh sind in der Tabelle 1 zusammengestellt; die Zahlen sind Mittelwerte von zumeist 3 Gefäßen. In einzelnen Fällen mußte allerdings ein Gefäß von der Mittelbildung ausgeschlossen werden, weil die Pflanzenentwicklung auf ihm in auffälliger Weise hinter der auf den beiden anderen Gefäßen zurückblieb. Diese Erscheinung dürfte damit in Zusammenhang stehen, daß die Versuche in Mitscherlich-Gefäßen durchgeführt wurden, die nicht gegen Niederschläge geschützt werden konnten. Die Niederschläge fielen nun zweimal im frühen Vegetationsstadium der Pflanzen so reichlich, daß die Schalen unter den Gefäßen überzulaufen drohten. Die Gefäße mußten deshalb zweimal, um die Versuche zu retten, unter die Halle getragen werden, wobei in einigen Fällen Verluste an der in den Schalen angesammelten Lösung der ausgewaschenen Nährstoffe eintraten. Die Durchführung der Vegetationsversuche in Mitscherlich-Gefäßen hat in unserem regenreichen Klima stets mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß die Auffangschalen für das Sickerwasser nicht groß genug sind. Bei anhaltendem starken Regen müssen die Gefäße daher an einen bedachten Ort gebracht werden, wodurch ein Hauptvorzug, den die Mitscherlich-Gefäße sonst besitzen, nämlich der, daß die Versuche in ihnen im Freien ohne Vorhandensein kostspieliger Glashäuser durchgeführt werden können, in Fortfall kommt. Wenn nun aber auch beim vorliegenden Versuch die Mittelwerte in einzelnen Fällen aus nur 2 Versuchsergebnissen gebildet werden mußten, so dürfte seine Beweiskraft dadurch doch noch nicht gelitten haben.

Aus den Zahlen der Reihe A in der Tabelle 1 kann nun entnommen werden, daß die Kalkdünger auf dem stark sauren Boden bei der so säureempfindlichen Gerste sämtlich eine hohe Ertrags-

Tabelle 1.

Versuch zu Gerste; Ernten an Trockensubstanz in g.

Düngung	Reihe A		Korn und Stroh	Düngung	Reihe B		Korn und Stroh
	Korn	Stroh			Korn	Stroh	
Ohne Kalk	0,0	1,8	1,8	—	—	—	—
Branntkalk, 1. Gabe	9,4	12,5	21,9	—	—	—	—
Branntkalk, 2. Gabe	13,1	13,1	26,2	—	—	—	—
Kalkstein, 1. Gabe	6,4	8,3	14,7	—	—	—	—
Kalkstein, 2. Gabe	10,7	13,9	24,6	—	—	—	—
Hüttenkalk I, 1. Gabe	7,7	11,0	18,7	Hüttenkalk I, 1. Gabe	8,6	10,9	19,5
Hüttenkalk I, 2. Gabe	12,9	15,2	28,1	Hüttenkalk I, 2 Gabe	12,4	16,1	28,5
Hüttenkalk II, 1. Gabe	8,2	11,3	19,5	Hüttenkalk II, 1. Gabe	9,3	12,1	21,4
Hüttenkalk II, 2. Gabe	12,9	15,4	28,3	Hüttenkalk II, 2. Gabe	11,9	14,4	26,3
Hüttenkalk III, 1. Gabe	9,6	12,8	22,4	Hüttenkalk III, 1. Gabe	8,9	11,9	20,8
Hüttenkalk III, 2. Gabe	15,0	15,5	30,5	Hüttenkalk III, 2. Gabe	13,1	13,8	26,9
Hüttenkalk IV, 1. Gabe	7,9	12,8	20,7	Hüttenkalk IV, 1. Gabe	8,1	12,5	20,6
Hüttenkalk IV, 2. Gabe	10,8	14,2	25,0	Hüttenkalk IV, 2. Gabe	12,9	14,6	27,5
Hüttenkalk V, 1. Gabe	9,8	13,0	22,8	Hüttenkalk V, 1. Gabe	10,2	12,7	22,9
Hüttenkalk V, 2. Gabe	13,7	15,4	29,1	Huttenkalk V, 2. Gabe	13,6	15,3	28,9
Hüttenkalk VI, 1. Gabe	8,4	11,9	20,3	Hüttenkalk VI, 1. Gabe	9,1	12,1	21,2
Hüttenkalk VI, 2. Gabe	10,8	15,7	26,5	Hüttenkalk VI, 2. Gabe	9,5	13,1	22,6

Reihe A: unvermischte Hüttenkalke.
Reihe B: mit Branntkalk angereicherte Hüttenkalke.

steigerung herbeigeführt haben. Im einzelnen ist dabei zunächst festzustellen, daß die Wirkung des Branntkalkes die des gemahlenen Kalksteins deutlich in der Reihe mit der kleineren Gabe übertroffen hat. Vergleicht man dann mit der Wirkung des gemahlenen Kalksteins die der verschiedenen Hüttenkalke, so sieht man, daß alle Hüttenkalke dem Kalkstein in der Wirkung überlegen waren, und zwar sowohl in der kleineren als auch in der großen Gabe. Die Hüttenkalke III und V haben aber auch — wenigstens in der höheren Gabe — größere Erträge gebracht als der Branntkalk. Von den anderen Hüttenkalken haben dann noch in der höheren Gabe die Proben I und II die Wirkung des Branntkalks bei gleichen Körnererträgen im Strohertrage übertroffen; in der kleinen Gabe sind diese Hüttenkalke allerdings hinter dem Branntkalk in den Korn- und Stroherträgen zurückgeblieben. Bei den Hüttenkalken IV und

V sind endlich die Kornerträge bei beiden Düngergaben geringer als die durch den Branntkalk hervorgebrachten; die Stroherträge sind in diesen Fällen bei der kleinen Düngergabe gleich den durch Branntkalk erzielten, bei der höheren sind sie etwas größer.

Was nun aber die Hauptfrage, derentwegen die Versuche überhaupt angestellt wurden, angeht, nämlich die Frage nach der Wirksamkeit und damit gleichzeitig die nach der Festigkeit der Bindung des Kalkes in Hüttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten, so muß zwar auf Grund der Versuchsergebnisse festgestellt werden, daß trotz der gleichen Kalkmengen in den verschiedenen Hüttenkalken nicht alle Hüttenkalke die gleiche Düngewirkung ausgeübt haben. Keineswegs liegt die Sache nun aber so, daß die kalkärmeren Hüttenkalke schlechter gewirkt hätten als die kalkreicheren. Wäre das der Fall gewesen, so müßte die Gruppierung der Hüttenkalke nach ihre Wirkung eine Reihenfolge liefern, die ihrer Numerierung von I bis VI entspricht. Ordnet man aber die Hüttenkalke nach ihrer Wirkung, so erhält man die folgenden Reihen:

nach der Gabe 1	V	III	IV	VI	II	I
nach der Gabe 2	III	V	II	I	VI	IV
nach Gabe 1 + 2	III	V	II	I	VI	IV

Die Reihenfolgen der Hüttenkalke stimmen hiernach bei der kleinen und großen Gabe nicht untereinander überein. Nach welcher Reihe man sein Urteil aber auch bilden will, aus allen Reihen geht hervor, daß der Hüttenkalk III mit 43,6% CaO besser gewirkt hat als der Kalk I mit 46,9% CaO. Weiter sieht man, daß der Hüttenkalk V mit nur 39,0% CaO den Ertrag stärker gesteigert hat als die Hüttenkalke I und II mit 46,9% und mit 45,3% CaO. Nach keiner der drei Anordnungen befindet sich schließlich der kalkärmste Hüttenkalk VI am Ende der Reihe; hier mußte aber seine Stellung sein, wenn in den kalkärmeren Hüttenkalken der Kalk fester gebunden und dadurch den Pflanzen weniger zugänglich gewesen wäre als in den kalkreicheren Hüttenkalken.

Für die der Versuchsanstellung zugrunde liegende Annahme, daß bei den Hüttenkalken die ertragsteigernde Wirkung der gleichen Kalkmengen von der Höhe des Kalkgehalts in den Hüttenkalken und von einer damit in Zusammenhang stehenden verschiedenen Festigkeit der Bindung des Kalkes abhängig sei, haben somit die Versuche keinen Beleg liefern können. Bestünde ein solcher einfacher Zusammenhang, so hätten die kalkreichen Hüttenkalke am Anfang und die kalkarmen am Ende der Wirkungsreihe stehen müssen, was nach den Ergebnissen der Versuche nicht der Fall war.

Aus dem Verhalten der Hüttenkalke bei den vorstehenden Versuchen kann aber auch weiter gefolgert werden, daß es keineswegs der Kalkgehalt der Hüttenkalke allein ist, der ihre ertragsteigernde Wirkung bedingt. Wäre es nämlich der Kalk allein, so hätten bei dem vorstehenden Versuch alle Hüttenkalke die glei-

chen Erträge liefern müssen, denn bei gleicher Feinmahlung waren ja in allen Hüttenkalken die gleichen Kalkmengen verabfolgt worden. Da sich nun verschiedene Erträge ergaben, muß aus den Versuchen der Schluß gezogen werden, daß neben dem Kalk noch andere Wachstumsfaktoren im Spiele gewesen sind. Tatsächlich ist ja auch bei den von uns verwendeten 6 Hüttenkalken, die von verschiedenen Hochofenwerken stammten, nicht nur der Gehalt an Kalk, sondern auch der an anderen Bestandteilen verschieden gewesen, wie z. B. an Kieselsäure, an Tonerde, an Manganverbindungen und gewiß noch an zahlreichen anderen Stoffen, die in geringen Mengen in den Hüttenkalken enthalten sind. Bei der Verabfolgung der Hüttenkalke auf der Grundlage gleicher Kalkmengen gelangten natürlich von den Nebenbestandteilen ganz verschiedene Mengen in die Gefäße. Daß der eine oder andere dieser Nebenbestandteile die ertragsteigernde Wirkung der Hüttenkalke beeinflußt haben kann, ist durchaus möglich, wenn auch zur Zeit keiner von diesen Bestandteilen — mit Ausnahme etwa der Kieselsäure — mit Sicherheit als wirksam erkannt ist. Wird nun aber eine Mitwirkung der Nebenbestandteile der Huttenkalke zugegeben, so entsteht die Notwendigkeit, in späteren Untersuchungen die reine Kalkwirkung scharf getrennt von der Wirkung der Nebenbestandteile herauszuarbeiten, denn wie die Sache zur Zeit steht, kann die den Versuchen zugrunde liegende Arbeitshypothese noch immer richtig sein, nach der eine Abhängigkeit der ertragsteigernden Wirkung der Hüttenkalke von der Hohe des Gehaltes an Kalk und der Festigkeit seiner Bindung vorhanden ist. Es mag aber auch in Wirklichkeit die gleiche Wirkung gleicher Kalkgaben und damit Gleichartigkeit der Kalkbindung vorhanden sein. In beiden Fällen kann eben das klare Hervortreten dieser Verhältnisse im Versuch durch das Hineinspielen der Nebenbestandteile überdeckt sein. Das sichere Herausarbeiten der reinen Kalkwirkung der Hüttenkalke wird aber keine leicht lösbare Aufgabe sein, denn in jeder Reihe von Hüttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten werden auch die Nebenbestandteile in verschiedenen Mengen enthalten sein, wenn sie nicht gar von verschiedener Art sind. Der sicherste Weg zur Trennung von Kalkwirkung und Wirkung der Nebenbestandteile und damit zur klaren Herausarbeitung der Frage nach der Festigkeit der Bindung des Kalkes in den Hüttenkalken wird wohl der sein, daß man sich Reihen von möglichst ähnlich zusammengestezten Huttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten durch Zusammenschmelzen der Bestandteile selbst herstellt und die so gewonnenen Produkte auf ihre Dungewirkung untersucht. Sind auch bei solchen künstlich erzeugten Schmelzprodukten Verschiedenheiten in der quantitativen Zusammensetzung unvermeidlich, so können die qualitativen Verschiedenheiten darin doch weitgehend ausgeglichen werden. Man kann, um dasselbe zu erreichen, natürlich auch so verfahren, daß man von einem stark basischen Hüttenkalk ausgeht und ihn mit steigenden Mengen Kieselsäure verschmilzt, um seinen Kalkgehalt ohne qualitative

Änderung der Nebenbestandteile zu variieren; man kann aber auch umgekehrt den Kalkgehalt eines sauren Hüttenkalkes durch Zuschmelzen von Branntkalk erhöhen. Diese Wege sollen auch demnächst zur endgültigen Klarstellung der erörterten Frage von uns beschritten werden. Bei diesen späteren Untersuchungen sollen dann auch die aus den verschiedenen Huttenkalken durch die Pflanzen aufgenommenen Kalkmengen ermittelt werden, was ohne Frage wesentlich dazu beitragen wird, Antwort auf die Frage nach der Festigkeit der Kalkbindung in den Hüttenkalken zu geben.

Wie schon eingangs gesagt, besteht aber auch in der Feststellung der Neutralisationswirkung, die von gleichen Kalkmengen in den verschieden zusammengesetzten Hüttenkalken auf sauren Böden ausgeübt wird, ein Mittel, um die Frage nach der Festigkeit der Kalkbindung in den Huttenkalken zu prüfen. Dieses Mittel konnte auch noch auf die von den in vorstehenden geschilderten Vegetationsversuchen herrührenden Bodenproben angewendet werden.

Die Feststellung der reaktionsändernden Wirkung, die in den obigen Versuchen von gleichen Kalkmengen in den verschiedenen Hüttenkalken ausgegangen war, wurde am Ende der Versuche vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellt; die Zahlen der Tabelle sind die Mittelwerte der Bestimmungen von jedesmal 3 zusammengehörigen Gefaßen.

Tabelle 2.

Aziditätswerte der Böden am Schluß des Versuches.

Düngung	Austausch-azidität y_1 ccm	Hydrolytische Azidität y_1 ccm	pH-Wert
ohne Kalk	5,6	25,1	4,57
Branntkalk, 1. Gabe	1,3	19,3	5,14
Branntkalk, 2. Gabe	0,2	7,0	6,22
Kalksteinmehl, 1. Gabe	0,9	17,5	5,37
Kalksteinmehl, 2. Gabe	0,2	8,2	5,95
Schlacke I, 1. Gabe	1,0	17,8	5,34
Schlacke I, 2. Gabe	0,2	9,5	6,13
Schlacke II, 1. Gabe	1,1	18,0	5,32
Schlacke II, 2. Gabe	0,2	9,6	6,14
Schlacke III, 1. Gabe	1,1	18,9	5,27
Schlacke III, 2. Gabe	0,3	8,8	6,02
Schlacke IV, 1. Gabe	1,1	16,9	5,32
Schlacke IV, 2. Gabe	0,2	8,3	5,92
Schlacke V, 1. Gabe	0,9	17,5	5,29
Schlacke V, 2. Gabe	0,2	9,6	5,79
Schlacke VI, 1. Gabe	1,0	16,9	5,37
Schlacke VI, 2. Gabe	0,4	8,0	6,19

Der Vergleich der Zahlen in Tabelle 2 zeigt, daß gewisse Verschiedenheiten in den Aziditätswerten bei den verschiedenen Kalkdüngern wohl zu verzeichnen sind. Die Unterschiede sind aber in keinem Fall so groß, daß auf eine Verschiedenheit in der Neutralisationskraft der verschiedenen Kalkdünger zurückgeschlossen wer-

den müßte. Bei gleichen Kalkgaben haben somit auch alle sechs geprüften Hüttenkalke in gleicher Weise neutralisierend gewirkt. Ist das aber der Fall, so muß auch weiter gefolgert werden, daß der Kalk in den verschiedenen Hüttenkalken nicht mit verschiedener Festigkeit gebunden sein kann, wenigstens nicht derart, daß die eine Hauptaufgabe der Hüttenkalke, nämlich wie die anderen Kalkformen als Neutralisationsmittel zu dienen, in praktisch belangreichem Ausmaße davon nachteilig betroffen würde. Was also der Vegetationsversuch nicht zu erkennen gab — wahrscheinlich infolge des Mitwirkens von Nebenbestandteilen der Hüttenkalke —, das dürfte aus den Aziditätsuntersuchungen doch einigermaßen zuverlässig hervorgehen, nämlich die Tatsache, daß trotz stark verschiedener Kalkgehalte der Kalk in den kalkärmeren Huttenkalken nicht fester gebunden war, als in den kalkreicheren. Diese Schlußfolgerung kann aber natürlich nur Geltung beanspruchen für solche Hüttenkalke, deren Kalkgehalt nicht unter den hinabgeht, den der im Versuch benutzte kalkärmste Hüttenkalk aufwies. Bei kalkärmeren Hüttenkalken wird man, wie inzwischen von uns ausgeführte Versuche auch schon ergeben haben, mit anderen Verhältnissen rechnen müssen. Wenn aber die Hüttenkalke den heute geltenden Normen entsprechen, nach denen sie zum mindesten einen Gesamtgehalt an basischen Stoffen (CaO + MgO) von 42% besitzen sollen, wird man voraussichtlich auch mit einer gleichartig festen Kalkbindung in ihnen rechnen und somit annehmen durfen, daß gleiche Kalkmengen in ihnen auch gleiche Neutralisationswirkungen ausüben. Bevor diese Schlußfolgerung aber als völlig sichergestellt betrachtet wird und weitere Schlußfolgerungen daraus auf die Verwendung der Huttenkalke in der landwirtschaftlichen Praxis gezogen werden, sollen doch noch die Ergebnisse anderer Untersuchungen in den oben angedeuteten Richtungen abgewartet werden. Gefäßdüngungsversuche haben schon des öfteren Ergebnisse gezeitigt, die nicht ohne weiteres verallgemeinert und auf praktische Verhältnisse übertragen werden durften.

Mit einigen Worten muß hier nun noch der Versuchsreihe B in Tabelle 1 gedacht werden, in der die Hüttenkalke zur Düngung benutzt wurden, nachdem sie durch Vermischung mit den berechneten Mengen an Branntkalk auf den fur alle gleichen Gehalt von 50% CaO gebracht waren. Eine Verbesserung der ertragsteigernden Wirkung hat nach den in Tabelle 1 zusammengefaßten Versuchsergebnissen die Vermischung der Hüttenkalke mit Branntkalk nicht gebracht. Vielleicht sind aber die Unterschiede in den Wirkungen der verschiedenen Hüttenkalke durch die Kalkzumischung im Vergleich zu den unvermischten Hüttenkalken etwas ausgeglichen. Nur der Hüttenkalk VI fällt in der höheren Gabe aus dem Rahmen der Versuche heraus, was unaufgeklärt bleiben mußte, gewißlich aber auf einem Fehler beruht. Der ertragsteigernden Wirkung wegen ist also eine Vermischung des Huttenkalkes mit Branntkalk als unnötig zu bezeichnen. Jedoch auch in bezug auf die Neutralisation des Bodens leisten die mit Kalk angereicherten

Hüttenkalke nicht mehr als die unvermischt gebliebenen. Davon überzeugt die folgende Zusammenstellung, die die Reaktionswerte des Versuchsbodens bei Verwendung des kalkreichsten und des kalkärmsten Hüttenkalkes mit und ohne Kalkanreicherung enthält (Tab. 3).

Tabelle 3.

Bezeichnung der Hüttenkalke	A. A. y_1 ccm	H. A. y_1 ccm	pH-Werte
Hüttenkalk I, unvermischt, 1. Gabe	1,0	17,8	5,43
Hüttenkalk I, unvermischt, 2. Gabe	0,2	9,5	6,13
Hüttenkalk I, mit Branntkalk, 1. Gabe	0,9	18,1	5,49
Hüttenkalk I, mit Branntkalk, 2. Gabe	0,2	8,3	6,25
Hüttenkalk VI, unvermischt, 1. Gabe	1,0	16,9	5,37
Hüttenkalk VI, unvermischt, 2. Gabe	0,4	8,0	6,19
Hüttenkalk VI, mit Branntkalk, 1. Gabe	1,0	17,3	5,37
Hüttenkalk VI, mit Branntkalk, 2. Gabe	0,2	8,3	6,25

Die Zahlen der Tabelle 3 geben die Aziditätswerte des Bodens wiederum nach der Beendigung des Vegetationsversuches an. Es kann daher leicht möglich sein, daß sich in bezug auf die Neutralisationsgeschwindigkeit bei weiteren Versuchen noch Ergebnisse erzielen lassen, die für die mit Branntkalk angereicherten Hüttenkalke günstiger sind. Das dürfte dann aber auch wohl von keiner nennenswerten praktischen Bedeutung sein.

Nach allem darf der Schluß gezogen werden, daß eine Anreicherung des Kalkgehaltes der Hüttenkalke auf eine für alle Hüttenkalke gleiche Höhe überflüssig ist. Diese Schlußfolgerung ist gewiß auch richtig, sofern man nur die Düngewirkung und das Neutralisationsvermögen der Hüttenkalke ins Auge faßt. Hegt man aber den Wunsch, daß zum Vorteil der landwirtschaftlichen Erzeugung die Verwendung der Hüttenkalke möglichst schnell und in möglichst großem Umfange in Gang komme, so wird man doch in der gleichmäßigen Anreicherung der Hüttenkalke mit Kalk auf 50% an basischen Stoffen ein brauchbares Mittel anerkennen, um der Verwirklichung dieses Wunsches näher zu kommen.

Statt vieler, in ihrem Kalkgehalt verschiedener und möglicherweise danach auch verschieden zu bewertender Hüttenkalke gibt es dann nur eine einzige Sorte mit stets gleichem Kalkgehalt. An die Verwendung einer solchen einheitlichen Sorte von Hüttenkalk wird sich die praktische Landwirtschaft viel schneller gewöhnen und wird auch viel schneller die richtigsten Anwendungsmöglichkeiten dafür ausfindig machen, als wenn ihr verschiedene Hüttenkalke mit verschiedenen Kalkgehalten angeboten werden. Da sich auch bezüglich des Handels mit Hüttenkalk durch diese Vereinheitlichung des Gehaltes an basischen Stoffen mancherlei Annehmlichkeiten ergeben dürften, so wird man doch vielleicht noch einmal auf diesen Vorschlag zurückkommen.

B. Die Düngewirkung von gequollener Hochofenschlacke.

Wenn gemahlene granulierte Hochofenschlacke mit Wasser zusammengebracht wird, so vermag sie allmählich einen beträchtlichen Teil davon chemisch zu binden. Auf dieser Hydratation

beruht ihre bekannte hydraulische Beschaffenheit und damit ihre Fähigkeit, zementartig zu erhärten. Bei dieser Hydratation beobachtet man nun auch eine oft sehr beträchtliche Volumvermehrung des Schlackenpulvers.

A. Wagner (2) hat einige Versuche über diese Quellung der Hochofenschlacke durchgeführt und dabei an einer glasig erstarrten, wassergranulierten Schlacke festgestellt, daß 100 g in einem Meßzylinder von 250 ccm mit Wasser aufgeschlämmte Schlacke in 10 Tagen ihr Volumen von 64 ccm auf nicht weniger als 252 ccm vergrößerten. Diese Quellung des Mehles der Hochofenschlacke scheint mit dem physikalischen Zustande der Schlacke in engstem Zusammenhange zu stehen. Zwei sogenannte zerrieselte Schlacken, das sind kalkreiche Schlacken, die beim Abkühlen freiwillig zu einem feinen Mehl zerfallen, zeigten überhaupt keine Quellung. Die zerrieselten Schlacken sind aber deutlich kristallisiert und stehen damit im Gegensatz zu den mit Wasser, Luft oder auch Wasserdampf granulierten Schlacken. Diese schnell abgekühlten Schlacken haben eine glasig-amorphe Struktur, deren Bildung darauf zurückzuführen ist, daß die Bestandteile der glutflüssigen Schlacke infolge der plötzlichen Abkühlung keine Zeit fanden, sich in bestimmten Kristallgittern zusammenzufinden. Auch die 3. Form, in der die Hochofenschlacke gewonnen wird, die Stückschlacke, zeigt keine Neigung zu einer stärkeren Quellung. Wenigstens fand A. Wagner, daß sie unter denselben Versuchsbedingungen wie die quellfähige glasige Schlacke geprüft, nur eine Volumvermehrung von 10% aufwies. Die Stückschlacke ist eben auch eine langsam erstarrte und daher kristallisierte Schlacke; stark quellbar sind aber nur die schnell erstarrten glasigen Schlacken. Auch diese sind nach den Untersuchungen von A. Wagner aber nicht in jedem Falle quellbar. So untersuchte A. Wagner eine wassergranulierte gemahlene Schlacke, die bereits 6 Jahre lang in unserem Institut aufbewahrt worden war. Bei einer früher vorgenommenen Prüfung hatte diese Schlacke noch ihr Volumen in Wasser von 74 ccm auf 178 ccm vermehrt, bei Prüfung im Jahre 1936 wies sie, in der eben geschilderten Weise geprüft, überhaupt keine Quellung mehr auf. Unter dem Mikroskop im polarisierten Licht betrachtet machte diese ursprünglich glasige Schlacke einen ziemlich entglasten Eindruck, so daß die Wahrscheinlichkeit besteht, daß diese Entglasung, dieser Übergang in den kristallisierten Zustand, das Aufhören der Quellfähigkeit bewirkt hat. A. Wagner betont daher gewiß mit Recht, daß eine Schlacke, von der man Quellfähigkeit verlange, glasig und frisch sein müsse. Daß dieses starke Quellungsvermögen der glasigen Hochofenschlacke, dem auch schon in der Patentliteratur Aufmerksamkeit geschenkt worden ist, für ihre physikalische Wirkung auf leichten Böden Bedeutung besitzen kann, erscheint keineswegs ganz ausgeschlossen. A. Wagner fand jedenfalls bei seinen Versuchen, daß ein Zusatz von 2% Hochofenschlacke zu Quarz die Durchlaufgeschwindigkeit des Wassers um 16%, ja sogar um 20—22% verringerte. In einer anderen Versuchsreihe zeigte es sich, daß die Hochofenschlacke in ihrer Wirkung auf die Durchlaufgeschwindigkeit des Wassers hinter gleichen Mengen eines Tonmergels nicht zurückstand.

Wie gesagt, wurden aber diese Versuche A. Wagners unter Verwendung von Quarzsand durchgeführt, der so gut wie gänzlich frei von jeglichen Bestandteilen kolloider Zerteilung ist, und der keinerlei lösliche Stoffe abzugeben oder zu absorbieren vermag. Ob die Quellfähigkeit der Hochofenschlacke sich aber auch dann noch zum Vorteil der physikalischen Bodeneigenschaften äußert, wenn sie mit natürlichem Boden vermischt ist, läßt sich nicht mit Sicherheit behaupten. Quellversuche unter Verwendung von Salzlösungen, wie sie im Ackerboden zirkulieren und ganz besonders auch unter Verwendung von kohlensäurehaltigen Salzlösungen werden darüber noch die Entscheidung bringen müssen. Hier

haben wir uns zunächst nur die Frage zur Beantwortung vorgelegt, ob, wie bereits in der Patentliteratur angegeben wird, die Veränderungen, die die Schlacke bei der Quellung erleidet, von irgendwelcher Bedeutung für ihre Düngewirkung seien.

Dazu wurden die auch in den oben mitgeteilten Vegetationsversuchen benutzten Schlacken III, IV und V verwendet, die sämtlich wassergranulierte Schlacken und dabei von frischer Beschaffenheit waren. Außerdem wurden noch die Schlacken IV und V nach ihrer Anreicherung mit Branntkalk auf 50% CaO zum Versuch herangezogen. Diese 5 Schlackenproben wurden nun zunächst zum Quellen gebracht, indem sie in größerer Menge im Verhältnis von 1 : 5 mit Wasser 20 Tage lang unter häufigem Schütteln behandelt wurden. Zur genaueren Erfassung des Quellengrades wurde ein kleinerer Versuch nebenher durchgeführt, bei dem in 250-ccm-Zylindern 50 g der Schlacken mit 250 ccm Wasser geschüttelt wurden. Die Volumina der Schlacken unter Wasser nach dem ersten, sofort erfolgten Aufschütteln und Absetzenlassen und die Volumina nach 20 Tagen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (Tabelle 4).

Tabelle 4.

	Schlacke III ccm	Schlacke IV ccm	Schlacke IV, angereichert ccm	Schlacke V ccm	Schlacke V, angereichert ccm
Anfangsvolumen	56	62	70	56	74
Volumen nach 20 Tagen	196	242	144	196	168

Alle drei erwiesen sich somit als stark quellfähig, Schlacke IV allerdings erheblich stärker als Schlacke III und V. Die Anreicherung der Schlacken mit Branntkalk hat das Volumen in verschiedener Weise beeinflußt. Das Anfangsvolumen war bei den angereicherten Schlacken etwas größer als das der unvermischten Schlacken, das Volumen nach 20 Tagen ist dagegen bei den angereicherten Schlacken wesentlich geringer als bei den unvermischten. Dennoch ist nur bei der so stark quellfähigen Schlacke IV eine wirkliche Herabsetzung der Quellfähigkeit durch das beigemischte Kalziumoxyd erfolgt. Berechnet man nämlich das Volumen, das die in dieser angereicherten Mischung enthaltene eigentliche Schlackenmenge nach 20 Tagen einnehmen müßte, wenn ihre Quellfähigkeit unverändert geblieben wäre, so kommt man auf 214 ccm. Bei der angereicherten Schlacke V führt dieselbe Rechnung zu dem Wert von 160,3 ccm. Während somit die Kalkzumischung das Quellungsvermögen der Schlacke V nicht nachteilig, eher sogar schwach günstig beeinflußt hat, ist die Zumischung des Branntkalkes zur Schlacke IV absolut nachteilig für die Quellfähigkeit gewesen. Was für Ursachen diesem Verhalten der beiden Schlacken zugrundeliegen, läßt sich erst beurteilen, wenn genauere und umfangreichere Untersuchungen durchgeführt sein werden.

Mit diesen gequollenen Schlacken wurden nun im Zusammenhang mit den bereits im ersten Teil der Mitteilung geschilderten Versuchen Vegetationsversuche durchgeführt. Die Versuchsbedingungen sind also die gleichen wie dort. Bemerkt werden muß aber, daß durch die mit der Quellung vor sich gehende Wasseraufnahme eine relative Verminderung des Gehaltes der Schlacke an Kalk — natürlich auch an ihren anderen Bestandteilen — eingetreten war, die aber bei der Dosierung der Schlackengaben berücksichtigt wurde. So enthielt die gequollene und wieder lufttrocken gewordene Schlacke III statt 43,6% nur 39,98% CaO, die Schlacke V statt 39,0% noch 37,54% CaO. Bei der in Wasser am stärksten gequollenen Schlacke IV war der Rückgang des Kalkgehaltes merk-

würdigerweise am kleinsten; statt 43,4% im ursprünglichen Zustande enthielt diese Schlacke nach voraufgegangener Quellung im lufttrockenen Zustande noch 42,9%. Bei stärkster Quellung hätte man eigentlich auch die stärkste Wasserbindung und damit auch den stärksten Rückgang des prozentischen Gehaltes an Kalk erwarten dürfen. Jedoch weiß man zur Zeit noch nichts Bestimmtes über den Zusammenhang zwischen Quellung und Wasseraufnahme der Schlacke, und man weiß auch nicht, wie weit beim Lufttrockenwerden der gequollenen Schlacke beide Vorgänge reversibel sind. Genauere Untersuchungen nach dieser Richtung sind fraglos erforderlich.

Die Ergebnisse der Vegetationsversuche mit diesen gequollenen Schlacken sind nun in der Tabelle 5 zusammengestellt. Die Zahlen sind wieder die Durchschnittswerte von jedesmal drei zusammengehörigen Gefäßen. Tabelle 6 schließlich enthält die Aziditätswerte des Bodens bei der Düngung mit den verschiedenen Schlacken nach der Ernte.

Ein Vergleich der Zahlen der Tabelle 5 mit denen der Tabelle 2 ergibt, daß die gequollene Schlacke keine größeren Ertragssteigerungen herbeigeführt hat als die nicht der Quellung unterworfen gewesene Schlacke. Ebenso zeigt ein Vergleich der Aziditatswerte in Tabelle 6 mit den in Tabelle 3 zusammengestellten Werten, daß die zur Quellung gebrachte Schlacke auch keine andere Neutralisationswirkung ausgeübt hat wie die nicht gequollene Schlacke.

Irgendein Vorteil, der auf die an der Hochofenschlacke bei ihrer Quellung eingetretenen Veränderung hatte zurückgeführt

Tabelle 5.

Versuch zu Gerste. Trockensubstanzernten in g/Gefäß.

Düngung	Korn g	Stroh g	Korn u. Stroh g
Schlacke III, 1. Gabe	9,7	13,2	22,9
Schlacke III, 2. Gabe	16,1	15,5	31,6
Schlacke IV, 1. Gabe	10,1	13,9	24,0
Schlacke IV, 2. Gabe	12,5	15,4	27,9
Schlacke V, 1. Gabe	9,6	12,6	22,2
Schlacke V, 2. Gabe	14,2	15,8	30,0
Schlacke V, angereichert, 1. Gabe	11,0	12,3	23,3
Schlacke V, angereichert, 2. Gabe	14,8	15,5	30,3

Tabelle 6.

Aziditätswerte nach der Ernte.

Düngung	A. A. y_1	H. A. y_1	pH
Schlacke III, 1. Gabe	1,0	18,4	5,29
Schlacke III, 2. Gabe	0,2	9,3	6,29
Schlacke IV, 1. Gabe	0,7	17,2	5,42
Schlacke IV, 2. Gabe	0,2	8,6	6,22
Schlacke V, 1. Gabe	1,0	18,0	5,38
Schlacke V, 2. Gabe	0,2	9,6	6,24
Schlacke V, angereichert, 1. Gabe	0,8	17,2	5,45
Schlacke V, angereichert, 2. Gabe	0,2	9,2	6,23

werden können, war somit in Richtung auf die Erträge und auf die Bodenreaktion durch die geschilderten Versuche nicht nachzuweisen. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß die Quellfähigkeit der Schlacke unter allen Umständen eine nebensächliche Eigenschaft ohne praktische Bedeutung sei. Wie schon oben dargelegt wurde, hat A. Wagner bei Glassand, der mit glasiger Hochofenschlacke versetzt war, eine erhebliche Verringerung der Durchlaufgeschwindigkeit für Wasser festgestellt. Diese Wirkung der Schlacke kann auf nichts anderes als auf ihre Quellung und die damit verbundene Verkleinerung des Porendurchmessers des Glassandes zurückgeführt werden. Auch bei der Verwendung der glasigen Hochofenschlacke auf leichten Kulturböden wird man deshalb wohl mit einer vorteilhaften Auswirkung der Quellfähigkeit der Schlacke in physikalischer Richtung rechnen dürfen. Voraussetzung dafür ist aber, daß der Quellung der Schlacke durch ihre Zersetzung unter dem Einfluß des kohlensäurehaltigen Bodenwassers und durch die von sauren Silikaten und Humaten ausgehenden Zersetzungs- und Absorptionsvorgänge nicht allzu schnell ein Ende bereitet wird. Darüber müssen erst noch besondere Versuche eine Entscheidung beibringen. Eine Zersetzung der Hochofenschlacke im Ackerboden wird sich natürlich auf die Dauer stets einstellen. Damit ist aber, wie ausdrücklich noch hervorgehoben sein mag, die günstige Wirkung der Hochofenschlacke auf die physikalischen Eigenschaften der Böden keineswegs aufgehoben. Die bei ihrer Zersetzung im Boden zurückbleibenden Stoffe, wie Kieselsäure und Tonerde, sind typische Kolloide und werden als solche stets zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der leichten Böden führen. Diese auf die Endprodukte der Zersetzung der Schlacke im Boden zurückzuführenden physikalischen Wirkungen sind stets vorhanden und von der Quellfähigkeit, die sich nur an der noch unzersetzten Schlacke äußern kann, gänzlich unabhängig. Es ist daher die mit den kolloiden Endprodukten der Schlackenzersetzung im Boden verbundene Bodenverbesserung eine dauerhafte und darum wohl auch höher einzuschätzende als die, die nur auf der vorübergehenden Quellung der Hochofenschlacke beruht.

C. Einfluß der Zeit der Düngung mit Hüttenkalk auf die Höhe der Erträge.

Bei Versuchen von H. Niehaus (3) hatte sich die merkwürdige Beobachtung machen lassen, daß die ertragsteigernde Wirkung des Hüttenkalkes eine Abhängigkeit von der Zeit seiner Anwendung aufwies, und zwar in dem Sinne, daß bei kürzerem Abstand der Düngung von der Saat höhere Erträge erreicht wurden als bei längerem Abstand. Bei einem Versuch mit Rübsen auf einem sauren Lehmboden im Jahre 1936 wurden mit Grunddüngung allein ohne Kalk 9,40 g Trockensubstanz geerntet, während mit drei steigenden Gaben Hüttenkalk die folgenden Erträge erzielt wurden:

	1. Gabe g	2. Gabe g	3. Gabe g
Hüttenkalk, 28 Tage vor der Saat	20,3	21,1	24,5
Hüttenkalk, 7 Tage vor der Saat	21,7	26,0	27,4

Die späte Düngung mit Hüttenkalk hat hier also bei allen drei Gaben zu größeren Ernten geführt als die frühzeitige Düngung. Diese Erscheinung wurde aber nur auf dem sauren Lehmboden beobachtet, bei einem gleichzeitig angesetzten Versuch auf saurem Sandboden war keine Überlegenheit der späten Anwendung des Hüttenkalkes über die frühzeitige zu erkennen. Eine irgendwie stichhaltige Erklärung für das Verhalten des Hüttenkalkes auf dem sauren Lehmboden konnte nicht ausfindig gemacht werden.

Es mußte auch wohl zunächst einmal das Beweismaterial für das Bestehen eines Zusammenhangs zwischen der Anwendung und der Wirkung des Hüttenkalkes vergrößert werden, bevor Rückschlüsse auf die Ursachen möglich waren. Aus diesem Grunde wurden im Jahre 1938 die folgenden Gefäßversuche mit Hüttenkalk angesetzt.

Versuchsordnung: Es kamen zwei saure Böden zur Verwendung, ein Lehmboden von Aegidienberg und ein humoser lehmiger Sand von Opladen. Die Aziditätswerte waren:

	A. A. y_1 ccm	H. A. y_1 ccm	pH
Boden Aegidienberg	3,2	17,5	5,02
Boden Opladen	5,4	25,0	4,52

Der Versuch wurde in Volk-Gefäßen angesetzt, die 8 kg Boden faßten. Die Grunddüngung für alle Gefäße bestand in 5 g Nitrophoska. Die Kalkdünger, unter denen sich diesmal auch ein gebrannter dolomitischer Kalk befand, wurden auf Grund der Austauschazidität und der hydrolytischen Azidität gegeben; die Mengen sind in der Zahlentafel 7 aufgeführt. Die älteren Kalkdünger wurden 1 Woche vor der Saat in den Boden gebracht. Beim Hüttenkalk wurde die Zeit variiert. In einer Reihe erfolgte die Einbringung 4 Wochen vor der Saat, in einer zweiten Reihe 2 Wochen vor der Saat und in der dritten Reihe 1 Woche vor der Saat.

Aus den Vegetationsnotizen ist bei diesem sauren Lehmboden hervorzuheben, daß die am 22. April ausgesäte Sommergerste auf allen Gefäßen gleichmäßig aufging und sich normal weiterentwickelte, ohne im Wachstum nennenswerte Unterschiede erkennen zu lassen. Beim Versuch mit Opladener Boden traten im Gegensatz dazu Unregelmäßigkeiten auf. Die Gerste auf den Gefäßen, die 4 Wochen vor der Saat mit Hüttenkalk gedüngt waren, ging mit erheblicher Verspätung gegenüber den nur mit Grunddüngung versehenen Gefäßen auf und blieb längere Zeit in der Entwicklung zurück. Dasselbe zeigte sich abgeschwächt auch bei den Gefäßen, die 2 Wochen vor der Saat den Hüttenkalk erhalten hatten. Bei den 1 Woche vor der Saat gedüngten Gefäßen verlief der Aufgang ohne Verzögerung. Die Ernte fand am 28. Juli 1938 statt. Die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmungen sind in der Tabelle 7 für den schweren Lehmboden von Aegidienberg und in Tabelle 8 für den leichten Boden von Opladen zusammengestellt. Die darin enthaltenen Zahlen für die Trockensubstanzernten sind Mittelwerte von 4 Gefäßen.

Auf dem Lehmboden von Aegidienberg hat nun die Kalkdüngung trotz der Azidität des Bodens keine sonderliche Wirkung ausgeübt. Der gemahlene Kalkstein hat überhaupt keine Ertragssteigerung gebracht, sie fehlt auch beim gebrannten Dolomit. Nur der Branntkalk und der Hüttenkalk haben zu einer Ertragssteigerung geführt, die für den Branntkalk aber auch nur in seiner niedrigen Gabe als sichergestellt betrachtet werden kann. Am besten hat noch der Hüttenkalk abgeschnitten; er hat den Kalkstein und den Dolomit deutlich in beiden Gaben und auch noch den Brannt-

Tabelle 7.

Versuch zu Sommergerste; Ernten an Trockensubstanz in g.
Boden aus Aegidienberg.

Düngung	Düngermenge	Trockensubstanzernte		
		Körner	Stroh	Körner und Stroh
	g	g	g	g
Grunddüngung ohne Kalk	—	24,2	31,4	55,6
Mit Branntkalk I	2,50	27,6	31,9	59,5
Mit Branntkalk II	11,76	24,3	32,6	56,9
Mit gebranntem Dolomit I	2,50	23,6	31,6	55,2
Mit gebranntem Dolomit II	11,76	22,0	31,7	54,7
Mit Kalkstein I	4,54	22,8	31,0	53,8
Mit Kalkstein II	21,27	22,7	30,9	53,6
Mit Hüttenkalk				
4 Wochen vor der Saat I	5,75	25,4	33,8	59,2
4 Wochen vor der Saat II	26,79	25,1	33,4	58,5
Mit Hüttenkalk				
2 Wochen vor der Saat I	5,75	26,8	34,2	61,0
2 Wochen vor der Saat II	26,79	26,3	34,3	60,6
Mit Hüttenkalk				
1 Woche vor der Saat I	5,75	24,4	32,9	57,3
1 Woche vor der Saat II	26,79	26,4	33,2	59,6

Gabe I nach der Austauschazidität, Gabe II nach der hydrolytischen Azidität.

Tabelle 8.

Versuch zu Sommergerste; Ernten an Trockensubstanz in g.
Boden aus Opladen.

Düngung	Düngermenge	Trockensubstanzernte		
		Körner	Stroh	Körner und Stroh
	g	g	g	g
Grunddüngung ohne Kalk	—	0,4	2,2	2,6
Mit Branntkalk I	3,63	11,4	13,5	24,9
Mit Branntkalk II	16,80	17,0	19,9	36,9
Mit gebranntem Dolomit I	3,63	8,7	12,7	21,4
Mit gebranntem Dolomit II	16,80	20,7	24,3	45,0
Mit Kalkstein I	6,56	9,2	12,1	21,3
Mit Kalkstein II	30,38	15,9	18,1	34.0
Mit Hüttenkalk				
4 Wochen vor der Saat I	8,32	14,6	17,4	32,0
4 Wochen vor der Saat II	38,53	19,5	21,7	41,2
Mit Hüttenkalk				
2 Wochen vor der Saat I	8,32	13,9	17,4	31,3
2 Wochen vor der Saat II	38,53	21,4	22,4	43,8
Mit Hüttenkalk				
1 Woche vor der Saat I	8,32	13,9	14,1	28,0
1 Woche vor der Saat II	38,53	18,1	15,4	33,5

kalk in der hohen Gabe übertroffen. Während nämlich die hohe Gabe des Branntkalkes schon zu einer Ertragsverminderung gegenüber der kleineren Gabe geführt hat, ist das beim Hüttenkalk nicht der Fall gewesen. In bezug auf die Frage, die den Versuch ver-

anlaßt hatte, wird nun aber keineswegs die Antwort geliefert, die nach dem Versuch von H. Niehaus zu erwarten war. Wohl waren, wie oben schon gesagt, die Keimung und das Auflaufen der Gerste um so schlechter gewesen, je weiter entfernt die Düngung von der Saat gewesen war, in den Ernten ist aber von dieser Benachteiligung nichts mehr zu merken. Eher läßt sogar, im Gegensatz zur gehegten Erwartung, der Versuch die Deutung zu, daß die kurz vor der Saat gegebene Düngung mit Hüttenkalk weniger gut gewirkt habe als die frühzeitig gegebenen Düngermengen. In dieselbe Richtung weist auch der Versuch auf dem leichten Boden von Opladen.

Aus den den Opladener Boden betreffenden Zahlen in Tabelle 8 ist zu entnehmen, daß alle Kalkdungemittel gegenuber der ungekalkten Reihe sehr starke Wirkungen ausgeübt haben. Der Hüttenkalk hat dabei wiederum den Branntkalk und den gemahlenen Kalkstein in der Kornerzeugung deutlich übertroffen. In der Strohbildung waren jedoch der Branntkalk und das Kalksteinmehl dem Hüttenkalk in einem Falle überlegen, nämlich in der höheren Gabe und zwar dann, wenn der Hüttenkalk gleichzeitig mit den genannten Düngern, also 1 Woche vor der Saat gegeben worden war. Wurde er aber früher gegeben, so übertraf der Hüttenkalk die genannten Kalkdünger auch in der Strohbildung. Dem gebrannten Dolomit ist der Hüttenkalk in der kleineren Dungergabe durchaus überlegen gewesen; in der höheren Düngergabe hat dagegen der dolomitische Kalk den Hüttenkalk ein wenig übertroffen, und zwar weniger in der Korn- als in der Strohbildung. Besonders deutlich zeigt sich die Überlegenheit des Huttenkalkes gegenuber den anderen Kalkdüngern dann, wenn er nicht gleichzeitig mit ihnen 1 Woche vor der Saat gegeben wurde, sondern 2 und 4 Wochen vor der Saat. Diese frühzeitigen Gaben haben ja beim Hüttenkalk, wie die Zahlen der Tabelle 8 aufweisen, die späte Gabe ganz deutlich übertroffen. War also auch zu Beginn der Versuche eine Benachteiligung der Keimung und des Auflaufens der Saat bei frühzeitiger Unterbringung des Hüttenkalkes vorhanden, so hat sie sich doch keineswegs nachteilig auf die Ernte ausgewirkt. Im Gegenteil zeigt der Versuch, daß die Erträge um so besser waren, je frühzeitiger die Düngung mit Huttenkalk erfolgte. Die von H. Niehaus bei uns im Jahre 1936 gemachte Beobachtung, daß die frühzeitige Gabe des Huttenkalkes weniger günstig auf den Ertrag gewirkt habe als die späte, konnte also auch bei diesem Versuch auf dem Opladener sandigen Lehmboden ebensowenig bestätigt werden wie bei dem Versuch auf dem schweren Lehmboden von Aegidienberg. Beide Versuche weisen vielmehr darauf hin, daß es für die ertragsteigernde Wirkung des Hüttenkalkes vorteilhafter ist, ihn frühzeitig, jedenfalls nicht zu kurze Zeit vor der Saat in den Boden zu bringen. Dieses Ergebnis dürfte auch das sein, was man theoretisch am ersten zu erwarten hatte. Denn der Hüttenkalk muß seinen Kalk ja erst noch aus seiner Bindung an die Kieselsäure und Tonerde freigeben, bevor er sich wie die anderen

Kalkformen im Boden auswirken kann. Wir beobachten daher ja auch beim Hüttenkalk einen langsameren Verlauf des Neutralisationsvorganges, und als damit im Zusammenhang stehend braucht dann eine etwas schlechtere Düngewirkung von kurz vor der Saat gegebenem Hüttenkalk nicht als unerwartet anzusehen sein.

Weitere Untersuchungen zu dieser Frage nach der besten Zeit der Unterbringung des Hüttenkalkes — besonders Felddüngungsversuche — bleiben aber doch noch erwünscht und sollen auch von uns zur Ausführung gebracht werden.

D. Gefäßdüngungsversuche mit Haldenschlacken und mit einer „sauren" Hochofenschlacke.

In den Gebieten, in denen unsere eisenerzeugende Industrie ansässig ist, haben sich in der Nähe der Hochofenwerke mit der Zeit gewaltige Halden aufgetürmt, die ganz oder hauptsächlich aus Hochofenschlacke bestehen. Diese große Bodenflächen bedeckenden Schlackenhalden stellen für die Hüttenwerke selbst sowie für die Städte und Orte, in denen sie sich befinden, große Belästigungen und Hindernisse dar, die sich nach verschiedensten Richtungen hin höchst unangenehm bemerkbar machen. Ihre Beseitigung liegt direkt im allgemeinen Interesse.

Es wurden daher von uns Untersuchungen eingeleitet, die zeigen sollten, ob auch diese Haldenschlacken sich nicht mit demselben Erfolge einer landwirtschaftlichen Verwendung zuführen ließen, wie das bei den am Hochofen frisch anfallenden Schlacken der Fall ist. Von vornherein kann diese Frage wohl schon deshalb gunstig beurteilt werden, weil angenommen werden darf, daß die Hochofenschlacken auf den Halden, auch wenn sie schon viele Jahrzehnte alt sind, doch keine so wesentlichen Veränderungen in ihrer chemischen Zusammensetzung erlitten haben können, daß ihre landwirtschaftliche Verwendbarkeit dadurch im Vergleich zu frisch anfallenden Schlacken besonders nachteilig betroffen wäre. Der direkten Einwirkung der Verwitterungsfaktoren bleiben die auf die Halde gesturzten Schlacken kaum längere Zeit hindurch ausgesetzt, weil sie ja ununterbrochen von neu anfallenden Schlackenmengen überdeckt werden. Obendrein verfestigen sich die Schlackenmassen auf der Halde derart, daß sie wie dichtes Gestein den Verwitterungseinflüssen starken Widerstand entgegensetzen können. Tatsächlich zeigten denn auch zwei von verschiedenen Seiten uns zur Verfügung gestellte Proben von Haldenschlacken, daß sie noch einen so hohen Gehalt an Kalk und Magnesia aufwiesen, daß sie den heute geltenden Handelsbedingungen für Hüttenkalke durchaus entsprachen. Es enthielten namlich:

Haldenschlacke A	Haldenschlacke B
CaO = 40,10 % MgO = 1,98 %	CaO = 43,20 % MgO = 2,34 %
Zusammen = 42,08 %	Zusammen = 45,54 %

Diese Haldenschlacken wurden von uns im Jahre 1938 in Gefäßversuchen auf ihre ertragsteigernde Wirkung geprüft. Außerdem wurde aber auch eine sogenannte „saure Hochofenschlacke" zu den Versuchen herangezogen.

Wie schon oben kurz angedeutet wurde, werden diese „sauren" Hochofenschlacken in Zukunft auf den Hüttenwerken in größeren Mengen anfallen, was damit zusammenhängt, daß in zunehmendem Ausmaße in Verfolg des Vierjahresplanes eisenarme deutsche Erze der Verhüttung zugeführt werden. Bei der Verhüttung dieser Erze ergeben sich aber Schlacken mit erheblich niedrigeren Gehalten an Kalk, als das bei der Verhüttung der eisenreichen Erze der Fall ist. Über den Gehalt an Kalk und Magnesia solcher „sauren" Schlacken unterrichten die folgenden Analysen, die wir der Freundlichkeit des Vereins deutscher Eisenhüttenleute verdanken.

Analysen „saurer" Hochofenschlacken.

%	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
SiO_2	42,42	40,24	41,37	34,26	43,28	38,51	33,69	33,91	41,00
Al_2O_3	13,38	13,75	12,05	20,44	19,64	12,04	15,57	15,93	13,91
CaO	33,69	33,14	32,46	32,46	27,85	42,83	33,58	32,72	34,30
MgO	2,94	4,20	5,41	6,06	5,19	—	8,56	8,57	4,92
FeO	1,45	3,14	1,61	1,35	2,00	1,98	1,81	1,97	2,30
S	0,72	0,69	1,18	1,39	0,75	1,07	1,71	1,72	1,18

Durchweg liegt hiernach die Summe von Kalk und Magnesia unterhalb des Grenzwertes von 42%, der in der Genehmigung der gewerbsmäßigen Herstellung und des Vertriebes eines Kalkdüngemittels aus Hochofenschlacke vom 1. September 1937 vorgeschrieben ist; nur zwei der Schlacken, nämlich die mit den Nummern VI und VII bezeichneten, erfüllen noch diese Gehaltsvorschrift. Man wird deshalb wohl annehmen dürfen, daß die Mehrzahl der in Zukunft beim sauren Schmelzen gewonnenen Schlacken von der landwirtschaftlichen Verwendung ausgeschlossen sein dürften, wenn sich nicht noch der Nachweis dafür erbringen läßt, daß sie trotz ihrer geringeren Basizität für die Landwirtschaft wertvolle Produkte darstellen. Da nun überhaupt bisher mit solchen „sauren" Schlacken Versuche nicht angestellt sind, glaubten wir in Anbetracht der Bedeutung, die einer wirtschaftlichen Verwertung dieses Abfallproduktes fraglos zukommt, als Einleitung zu einer gründlicheren und umfassenderen Prüfung wenigstens eine saure Hochofenschlacke in unsere Versuche einbeziehen zu sollen.

Die Zusammensetzung dieser sauren Schlacke war folgende:

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO
45,2%	19,9%	27,2%	4,1%

Es handelt sich hiernach um eine sehr kalkarme Schlacke, die auch bei Einrechnung ihres Magnesiagehaltes weit hinter der heute gültigen Norm von 42% CaO + MgO zurückbleibt. Sie zeigt eine weitgehende Übereinstimmung mit der Schlacke V in unserer Zusammenstellung von Analysen saurer Schlacken. Mit nur 27,2% CaO dürfte unsere Schlacke wohl zu den sauersten Schlacken gehören, die beim sauren Schmelzen überhaupt anfallen.

Zu den Versuchen wurden dieselben Böden verwendet wie bei den unter C bereits beschriebenen Versuchen über den Einfluß der Zeit der Düngung mit Hüttenkalk. Alles, was über die Durchführung der Versuche dort gesagt ist, hat auch sonst für die folgenden Versuche Geltung. Nur bezüglich der Zeit der Düngung sei noch vermerkt, daß die verschiedenen Schlackendünger sämtlich 1 Woche vor der Aussaat in den Boden gebracht wurden. Die Ernteergebnisse, jedesmal Mittelwerte von 4 Gefäßen, sind in den Tabellen 9 und 10 zusammengestellt.

Tabelle 9.

Versuch zu Sommergerste auf Lehmboden von Aegidienberg.

Düngung	Düngermenge	Trockensubstanzernten			pH
		Körner	Stroh	Körner und Stroh	
	g	g	g	g	
Grunddungung ohne Kalk	—	24,2	31,4	55,6	5,54
Hüttenkalk I	5,75	24,4	32,9	57,3	5,68
Hüttenkalk II	26,79	26,4	33,2	59,6	6,13
Haldenschlacke A I	6,26	25,8	31,4	57,2	5,53
Haldenschlacke A II	29,33	29,9	29,8	59,7	6,27
Haldenschlacke B I	5,81	27,3	30,3	57,6	5,84
Haldenschlacke B II	27,22	28,3	31,3	59,6	6,04
Saure Schlacke I	9,23	24,2	28,8	53,0	5,66
Saure Schlacke II	43,24	24,9	29,4	54,3	5,51

Tabelle 10.

Versuch zu Sommergerste auf sandigem Lehm von Opladen.

Dungung	Düngermenge	Trockensubstanzernten			pH
		Körner	Stroh	Körner und Stroh	
	g	g	g	g	
Grunddüngung ohne Kalk	—	0,4	2,3	2,7	4,44
Hüttenkalk I	5,32	13,9	14,1	28,0	5,02
Hüttenkalk II	38,53	18,1	15,4	33,5	5,92
Haldenschlacke A I	9,05	10,6	13,3	23,9	4,95
Haldenschlacke A II	41,90	18,3	22,6	40,9	5,83
Haldenschlacke B I	8,40	8,0	11,1	19,1	4,68
Haldenschlacke B II	38,89	15,6	19,1	34,7	5,57
Saure Schlacke I	13,34	1,0	3,4	4,4	4,35
Saure Schlacke II	61,74	0,6	3,0	3,6	4,35

Auf dem Lehmboden von Aegidienberg (Tab. 9) sind die Ertragssteigerungen durch die basischen Schlackendünger nur gering und, wenn man die Gesamternten an Korn und Stroh in Betracht zieht, nicht voneinander verschieden gewesen. Nur scheint der Hüttenkalk ein wenig mehr die Strohbildung, die beiden Haldenschlacken dagegen die Körnerbildung begünstigt zu haben. Die saure Schlacke hat dagegen überhaupt keine Ertragsteigerung bebewirkt, eher sogar hat sie den Strohertrag ein wenig herabgesetzt. Daß sie tatsächlich als Kalkdünger ohne jede praktisch beachtliche

ertragsteigernde Wirkung geblieben ist, zeigt sehr deutlich der Versuch auf dem sandigen Lehmboden von Opladen; weder in der kleinen Gabe nach der Austauschazidität noch in der größeren Gabe nach der hydrolytischen Azidität ist eine nennenswerte Verbesserung der Erträge durch diese Schlacke zu erzielen gewesen. Der zum Vergleich angewendete frische Hüttenkalk ist in seiner Wirkung von den beiden Haldenschlacken nicht voll erreicht worden; besonders in der kleineren Gabe bleiben diese Schlacken hinter dem Hüttenkalk zurück. Immerhin ist die ertragsteigernde Wirkung der Haldenschlacken doch noch so groß gewesen, daß sie als voll brauchbare Kalkdünger gewertet werden können. Das ergibt sich überzeugend durch einen Vergleich der Ertragswerte dieser Haldenschlacken mit denen des gemahlenen Kalksteins in Tabelle 7. In bezug auf die Neutralisation des Bodens haben die Haldenschlacken nicht so günstig gewirkt, wie der frische Hüttenkalk. Die saure Schlacke hat dagegen überhaupt keine neutralisierende Wirkung auf den Boden ausgeübt, worauf denn auch ihr Versagen in bezug auf die Ertragssteigerung zurückzuführen ist.

Aus den vorstehenden Versuchen wird gefolgert werden dürfen, daß der landwirtschaftlichen Verwendung der Haldenschlacken keinerlei Hindernis entgegensteht, sofern sie den vorgeschriebenen Kalkgehalt von 42% CaO + MgO besitzen. Die beim sauren Schmelzen im Hochofen gewonnenen Schlacken werden aber, soweit sie einen ähnlichen niedrigen Kalkgehalt besitzen wie die geprüfte Schlacke, für die Anwendung als Kalkdünger als unbrauchbar gelten müssen.

Mit dieser Feststellung ist aber natürlich keineswegs ein endgültiges Urteil über alle „sauren“ Schlacken ausgesprochen. Wie die oben angeführten Analysen zeigen, kann der Gehalt bei den beim sauren Schmelzen gewonnenen Schlacken erheblich größer sein als bei der von uns untersuchten Schlacke. Die Summe von Kalk und Magnesia kann, besonders bei molekularäquivalenter Umrechnung der Magnesia auf Kalk sogar so groß werden, daß die vorgeschriebenen 42% an basischen Stoffen auch bei den „sauren“ Schlacken erreicht werden. Unter den oben zusammengestellten Schlacken trifft das z. B. für die beiden magnesiareichen Schlacken Nr. VII und VIII zu. Schon die einfache Summierung von CaO und MgO führt hier zu Gehalten an basischen Stoffen von 42,10% und 41,29%, und bei molekularäquivalenter Umrechnung des MgO auf CaO erhält man sogar für diese Schlacken einen Gesamtbasengehalt von 45,56 und 44,71%. Solche Schlacken können selbstverständlich, auch wenn sie beim sauren Schmelzen im Hochofen gewonnen werden, ohne weiteres als Kalkdünger verwendet werden. Wo aber bei diesen sauren Schlacken mit sinkendem Basengehalt die Grenze liegt, bei der sie aufhören, zur Verwendung als Kalkdünger geeignet zu sein, das wissen wir zur Zeit noch nicht und können es nur durch weitere Untersuchungen ausfindig machen. Jedoch auch bei den sauren Schlacken, die in ihrem Basengehalt unter diesem noch festzustellenden Grenzwert liegen,

braucht man die Hoffnung auf eine im nationalwirtschaftlichen Interesse liegende landwirtschaftliche Verwertung noch keineswegs aufzugeben. Sind diese sauren Schlacken auch, wie etwa die von uns geprüfte, keine brauchbaren Kalkdünger, so können sie doch vielleicht noch wertvolle Bodenverbesserungsmittel für die leichten Böden und für die Moorböden abgeben. Nach dieser Richtung hin sollen daher unsere Untersuchungen in Zukunft noch ausgebaut werden.

E. Die Düngewirkung des Gichtstaubes.

Die Frage nach der Düngewirkung des Gichtstaubes steht in einer nur lockeren Verbindung mit den in den voraufgehenden Abschnitten behandelten Schlackenfragen. Der Gichtstaub teilt mit der Hochofenschlacke seine Herkunft: beide sind Abfallprodukte bei der Gewinnung des Roheisens im Hochofen. Der Gichtstaub wird von jenen festen oder bei der Abkühlung fest werdenden Teilchen gebildet, die mit den gasförmigen Reaktionsprodukten aus dem obersten Teil des Hochofens, der Gicht, entweichen. Durch besondere Einrichtungen werden diese festen Bestandteile aus den Gichtgasen als ein außerordentlich feinkörniges Mehl abgeschieden. Die Mengen dieses Gichtstaubes, die auf den Hochofenwerken anfallen, sind nicht unbeträchtlich. Es ist daher nicht erstaunlich, daß man um ihre Verwertung bemüht ist.

Die Zusammensetzung dieses Gichtstaubes ist allerdings erheblichen Schwankungen im Zusammenhang mit der Art der verhütteten Erze und der angewendeten Zuschläge unterworfen. Es handelt sich aber wohl stets um ein durch seinen hohen Kalk- und Alkaligehalt stark basisches Material, das wohl als Kalkdünger in Frage kommen könnte. Dazu wäre es den Hüttenwerken natürlich leicht, den Gehalt an Kalk durch Zuschlag von Branntkalk zu erhöhen. Ein derartiger durch Branntkalkzusatz von ursprünglich etwa 30% auf 40,8% CaO angereicherter Gichtstaub stand uns zu unseren Versuchen zur Verfügung. Die Zusammensetzung war nach der Analyse des Lieferwerkes die folgende:

40,80% CaO	1,15% Zn	0,75% P_2O_5
1,60% MgO	0,97% S	2,35% C u. org. Stoffe
17,88% Alkalien	14,78% SiO_2	1,00% H_2O
1,21% Fe	9,58% Al_2O_3	
0,50% Mn	5,38% CO_2	

Die Alkalien bestanden nach unseren Untersuchungen rund zur Hälfte aus Kali.

Mit diesem Gichtstaub wurde nun in Vergleich zu Branntkalk, zu gemahlenem Kalkstein und zu einem wassergranulierten gemahlenen Hüttenkalk ein Vegetationsversuch auf einem stark sauren Boden durchgeführt. Der Boden stammte von unserem Opladener Versuchsfeld und hatte bei einer hydrolytischen Azidität von $y_1 = 29,0$ ccm eine Austauschazidität von $y_1 = 7,0$ ccm. Die Versuchsgefäße waren Volk-Gefäße von 10 kg Fassungsvermögen. Die Grunddüngung für alle Gefäße bestand in 5,0 g Kalknitrophoska. Die Kalkdünger und ebenso der Gichtstaub wurden auf Grund ihres Kalkgehaltes nach der Austauschazidität und nach der hydrolytischen Azidität mit dem Faktor 3,0 bemessen. Die Zahl der Parallelgefäße in jeder Reihe war 3; davon sind die

Mittelwerte in der folgenden Tabelle 7 zusammengestellt. Die Versuchspflanze war der sowohl gegen die Bodenversauerung als auch gegen Giftstoffe empfindliche Senf. Gedüngt wurde am 17. Juli 1937, gesät am 26. Juli 1937 und geerntet am 13. September 1937.

Tabelle 11.

Ernten an Senf-Trockensubstanz im Mittel von 3 Gefäßen in g.

Düngung	Ertrag g
Grunddüngung = 5 g Nitrophoska	4,0
Grunddüngung + CaO I	18,2
Grunddüngung + CaO II	29,7
Grunddüngung + Kalkstein I	16,8
Grunddüngung + Kalkstein II	26,5
Grunddüngung + Hüttenkalk I	14,8
Grunddüngung + Hüttenkalk II	25,0
Grunddüngung + Gichtstaub I	15,0
Grunddüngung + Gichtstaub II	22,8

Man sieht, daß durch den Branntkalk und auch noch durch den gemahlenen Kalkstein höhere Ertragssteigerungen bewirkt worden sind, als durch den Hüttenkalk und durch den Gichtstaub. Diese Überlegenheit der reinen Kalkdünger über den Hüttenkalk ist in diesem Falle nicht erstaunlich, wenn man an die hohe Azidität des Bodens, die große Säureempfindlichkeit des Senfes und die etwas geringere Neutralisationsgeschwindigkeit der Schlacke im Vergleich zu der der reinen Kalkdünger denkt. In Anbetracht dieser Verhältnisse ist die Wirkung des Hüttenkalkes noch recht günstig gewesen. Im Endergebnis hat aber auch der Gichtstaub noch befriedigende Mehrerträge geliefert. Dennoch kann zu einer Anwendung des Gichtstaubes in der landwirtschaftlichen Praxis noch nicht geraten werden, und zwar deshalb nicht, weil er die Anfangsentwicklung der Pflanzen nachteilig beeinflußt hat.

Noch nach 4-wöchiger Wachstumszeit war der Stand der Pflanzen auf den Gefäßen mit Gichtstaub hinter dem auf den Gefäßen mit Branntkalk und Kalksteinmehl so stark zurück, daß die Gichtstaubanwendung als ein vollkommener Fehlschlag gewertet werden mußte. Im Vergleich zu den kalkfreien Gefäßen war natürlich auch durch den Gichtstaub eine Wachstumssteigerung herbeigeführt; aber erst nach 4 Wochen holte diese Wachstumssteigerung derart auf, daß das Zurückbleiben hinter den gekalkten Gefäßen einigermaßen bis zur Ernte ausgeglichen wurde.

Bemerkenswert für die mit Gichtstaub gedüngten Pflanzen war, daß sie während ihrer ganzen Entwicklung kleiner, aber gedrungener und kräftiger als die mit Kalk gedüngten Pflanzen waren.

Worauf die mangelhafte Anfangswirkung des Gichtstaubes zurückzuführen ist, kann mit Sicherheit noch nicht angegeben werden. Eine schlechtere Neutralisation des stark sauren Bodens im Vergleich zu den anderen Kalkdüngern hat, wie die Durchschnittszahlen der Tabelle 12 zeigen, der Gichtstaub nicht hervorgerufen. Der Gichtstaub hat hiernach eher besser als schlechter neutralisiert. Man muß deshalb wohl annehmen, daß die anfängliche Wachstumsdepression unter dem Einfluß des Gichtstaubes mit

Tabelle 12.

Düngung	A. A.	H. A.	pH
Grunddüngung	6,5	28,3	4,33
„ + CaO I	1,3	20,5	5,11
„ + CaO II	0,0	7,3	6,17
„ + Kalkstein I	1,3	19,4	5,25
„ + Kalkstein II	0,1	10,0	6,21
„ + Hüttenkalk I	1,1	19,6	5,10
„ + Hüttenkalk II	0,0	11,0	5,99
„ + Gichtstaub I	1,2	19,6	5,23
„ + Gichtstaub II	0,0	7,7	6,50

giftigen Nebenbestandteilen, wie etwa seinem Cyanidgehalt, in Zusammenhang steht. Auch sonst können im Gichtstaub sehr wohl giftig wirkende Stoffe vorhanden sein, und zwar in solchen Mengen, daß der Pflanzenwuchs dadurch völlig vernichtet wird. Das haben uns kleinere Versuche mit verschiedenen Gichtstaubproben gezeigt, die schon im Jahre 1931 von uns durchgeführt wurden.

Bei diesen Versuchen kam auch der stark saure humose lehmige Sandboden von Opladen zur Verwendung. Die Grunddüngung bestand bei diesem Vegetationsversuch aus Ammonsulfat, Superphosphat und schwefelsaurer Kalimagnesia. Funf verschiedene Gichtstaubproben mit verschiedenen Kaligehalten standen für diese Versuche zur Verfügung:

CaO-Gehalte der Gichtstaubproben.

I	II	III	IV	V
29,3%	32,6%	31,4%	27,6%	36,7%

Als Vergleichsdünger wurden gefällter kohlensaurer Kalk und gemahlener Branntkalk benutzt. Alle Kalkdünger wurden in 3 Gaben gegeben, die 10, 20 und 30 dz $CaCO_3$ je ha entsprachen. Als Versuchspflanze wurde am 5. Mai 1931 Sommergerste gesät, nachdem am 4. Mai 1931 die Düngung vorgenommen war. Während die Gerste auf den ungekalkt gebliebenen Gefäßen, ferner auf den mit Branntkalk, Kalziumkarbonat und dem Gichtstaub I gedüngten Gefäßen am 13. Mai 1931 gleichmäßig auflief, traten bei den übrigen Gichtstaubproben, besonders stark bei den Proben II und III, Keimungsverzögerungen ein. Bei den Gichtstaubproben II und III erfolgten dann schnell so starke Schädigungen der Pflanzen, daß die Ernten noch schlechter als auf den ungedüngten, also stark sauer verbliebenen Gefäßen waren. Die Gichtstaubproben IV und V ließen noch eine gewisse Ertragssteigerung gegenüber der ungedüngten Reihe zustandekommen; die Erträge blieben hier aber weit hinter denen auf den gekalkten und mit Gichtstaub I gedüngten Gefäßen zurück. Einzelheiten können aus der folgenden Tabelle 13 über die Höhe der erzielten Ernten entnommen werden. Die Zahlen dieser Tabelle sind Mittelwerte der Ernten von je 2 Gefäßen; die Gerste wurde am 30. Juni 1931 grün geerntet.

Tabelle 13.
Ernten an Trockensubstanz in g; Ernte ohne Kalkdüngung = 0,6 g.

Düngergabe	$CaCO_3$ g	CaO g	Staub I g	Staub II g	Staub III g	Staub IV g	Staub V g
I	6,0	4,1	4,7	0,60	0,50	3,8	4,4
II	9,5	9,6	11,0	0,07	0,11	4,6	6,8
III	10,7	10,5	11,0	0,03	0,01	2,7	4,9

Es gibt somit wohl Gichtstaubproben, die keine schlechtere Düngerwirkung als Branntkalk und Kalksteinmehl entfalten. Andere Gichtstaubproben sind aber mit einer nur geringen düngenden Wirkung ausgestattet, und wiederum andere Gichtstaubproben wirken direkt vergiftend auf die Pflanzen ein. Die landwirtschaftliche Verwendbarkeit des Gichtstaubes bedarf daher noch weiterer eingehender Untersuchungen, wobei auch die Wirkung kleinerer Gichtstaubmengen auf die Pflanzen studiert werden muß, da möglicherweise der Gichtstaub auch als Quelle für mancherlei Spurenelemente in Frage kommen kann.

Zusammenfassung.

1. Bei Hüttenkalken mit verschiedenen Kalkgehalten, die aber der Gehaltsforderung noch voll entsprachen, wurde keine von der Höhe des Kalkgehaltes abhängige Verschiedenheit in der Düngewirkung festgestellt, wenn gleiche Kalkmengen in den Hüttenkalken bei Vegetationsversuchen miteinander verglichen wurden.

2. Auch die Ermittelung des durch gleiche Kalkmengen in den verschiedenen Hüttenkalken bewirkten Neutralisationsgrades bei den Versuchsböden gab keine Veranlassung, eine verschiedene, von der Höhe des Kalkgehaltes abhängige Festigkeit der Bindung des Kalkes in den verschiedenen Hüttenkalken anzunehmen. Weitere Untersuchungen zu dieser Frage bleiben jedoch noch erforderlich.

3. Hüttenkalk, der in Wasser zur Quellung gebracht war und nach erfolgter Trocknung zur Düngung verwendet wurde, besaß die gleiche ertragsteigernde Wirkung und dasselbe Neutralisationsvermögen wie nicht gequollener Hüttenkalk.

4. Haldenschlacke, die in ihrem Gehalt an basischen Stoffen der Gehaltsforderung entspricht (42% CaO + MgO), kann bei entsprechender Feinmahlung unbedenklich als Kalkdunger Verwendung finden.

5. Eine beim sauren Schmelzen im Hochofen gewonnene Schlacke mit nur 27,1% CaO und 4,3% MgO war als Kalkdünger und Neutralisationsmittel für den Boden völlig ungeeignet. Diese Schlußfolgerung darf nicht auf andere beim sauren Schmelzen anfallende Hochofenschlacken ohne weiteres ubertragen werden, weil die Gehalte dieser Schlacken an basischen Stoffen oft erheblich höher liegen als bei der geprüften Schlacke.

6. Gichtstaub kann eine ähnliche Düngewirkung entfalten wie Branntkalk und kohlensaurer Kalk, er kann aber auch stark dahinter zurückbleiben und sogar direkt giftig wirken. Gichtstaub kommt daher nicht ohne weiteres als Dungemittel in Frage.

Schrifttum:

1. Kappen, H.: Ergebnisse von Feldüngungsversuchen mit Hochofenschlacke. Ztschr. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin. B, 13, 1934, S. 22—36.
2. Wagner, A.: Über den Einfluß der Hochofenschlacke auf die physikalischen Eigenschaften der Böden. Diss., Bonn 1936.
3. Niehaus, H.: Die Bedeutung des Kalziumsulfids in der Hochofenschlacke und sein Einfluß auf die Vegetation. Diss, Bonn 1937.

Untersuchungen über den Einfluß chlorhaltiger Kalidüngemittel auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen.

Von **Antonín Němec.**

Institut für forstliche Biochemie und Pedologie der staatlichen forstlichen Forschungsanstalten in Praha-Dejvice.

Eingegangen: 6. Dezember 1938.

Die Ansprüche der Sämlinge und verschulten jungen Fichten auf die Kaliernährung sind besonders bei 2jährigen bis 4jährigen Pflanzen verhältnismäßig ziemlich groß. Nach Schroeder (1) verbrauchen Fichtensämlinge bei guter Entwicklung im ersten Jahre 13,7 kg, im zweiten 65,4 kg K_2O je ha. Nach Councler (2) verbrauchen 3jährige Fichten 5,7—13,5 kg K_2O, nach Dulk (3) bedürfen 1jährige Holzarten folgender Kalimengen je ha: Fichte 15,6 kg, Kiefer 23,5 kg und Buche 30,5 kg. Die neuesten Angaben über den Nährstoffbedarf der forstlichen Holzarten stammen von Manshard (4). Der Nährstoffbedarf ist selbstverständlich von der auf einer bestimmten Fläche angebauten Zahl der Fichten abhängig. Falls die Pflanzenzahlen der Handelsbaumschule in Halstenbek zu Grunde gelegt wurden, hat sich nach Manshard jeweils bei Sämlingen (S) oder verschulten Fichten (v) der nachstehende Kalientzug ergeben:

Fichte	Pflanzen je ha	Jährlicher K_2O-Entzug je ha
im 1. Jahr (S)	8 250,000	13 kg
im 2. Jahr (S)	7 150,000	56 kg
im 3. Jahr (v)	810,000	37 kg
im 4. Jahr (v)	765,000	52 kg

In der forstlichen Praxis ist allgemein die Zahl der angebauten Fichtenpflanzen und somit auch der Kalibedarf, bezogen auf eine bestimmte Fläche, geringer; so ergeben sich nach Manshard folgende Zahlen:

Fichte	Pflanzen je ha	Jährlicher K_2O-Entzug je ha
im 1. Jahr (S)	2 000,000	3 kg
im 2. Jahr (S)	1 900,000	15 kg
im 3. Jahr (v)	700,000	32 kg
im 4. Jahr (v)	700,000	48 kg

In niedrigeren und milderen Lagen werden in den forstlichen Betrieben bereits 1jährige Fichten verschult, so daß der Kaliverbrauch im zweiten Jahre des Wachstums dann nicht 15 kg, sondern ungefähr nur 5,5 kg K_2O je ha und Jahr beträgt. Der Gesamtentzug bei verschulten Fichten im zweiten bis dritten Jahre würde dann nicht mehr als zirka 40 kg K_2O je ha jährlich ausmachen. Auch unter diesen Voraussetzungen kann man annehmen, daß der Kaliverbrauch der Fichtenbeete bei Waldbaumschulen nicht selten einer mittleren Getreideernte gleichzustellen ist. Nach Nolte verbraucht eine mittlere Weizenernte ungefähr 50 kg K_2O je ha, also nur um $^1/_5$ weniger als dreijährige verschulte Fichten. Auf Grund der Beurteilung der Kaliversorgung des Bodens ergibt sich allgemein eine Kalidüngungsbedürftigkeit des Getreides, falls der Kaligehalt im Auszuge des Bodens in 1 %iger Zitronensäure unter 160 mg K_2O/kg herabsinkt. Die Kalibedürftigkeit der forstlichen Holzarten kann jedoch

bisher auf Grund einer Bodenuntersuchung nicht beurteilt werden, da die Grenzgehaltszahlen der Nährstoffe zur Bestimmung des Nährstoffbedarfes nicht bekannt sind.

Unter der Voraussetzung, daß das Aneignungsvermögen der jungen Fichten für die Bodennährstoffe das gleiche wie bei Weizen ist, kann man unter Zugrundelegung der bekannten Entzugs- und Grenzgehaltszahlen der Getreidearten bzw. landwirtschaftlicher Böden die erforderlichen Nährstoffgehalte des Waldbodens annähernd berechnen. Wenn wir von den oben angeführten Kalientzugszahlen des Weizens (50 kg) und der dreijährigen Fichte (40 kg) ausgehen, ergibt sich unter Annahme der Grenzzahl des Kaligehaltes für die Getreidearten (160 mg K_2O im Auszuge 1 kg Bodens mit 1 %iger Zitronensäure) die nachstehende Grenzgehaltszahl für 3jährige verschulte Fichte:

$$\frac{50}{40} = 1{,}25 \qquad \frac{160}{1{,}25} = 128{,}0.$$

Der Gehalt 128 mg K_2O im Auszuge 1 kg Bodens mit 1 %iger Zitronensäure stellt die Grenzzahl des Kaligehaltes dar, welche für 3jährige verschulte Fichten in Waldbaumschulen die kalibedürftigen von den kaliversorgten Waldböden unterscheidet.

Um diese theoretisch berechnete Angabe durch praktische Erfahrungen zu überprüfen, wurden in den Jahren 1930–1932 Versuche mit einseitiger Kalidüngung einjähriger verschulter Fichtensämlinge in verschiedenen Waldbaumschulen angestellt, bei welchen der Einfluß einer Düngung mit 40 %igem Kalisalz und Kainit auf die Wuchsleistungen und Nährstoffaufnahme der jungen Fichten unter verschiedensten Nährstoffversorgungen des Bodens verfolgt wurde, ähnlich wie bei den Kalkungs- und Phosphorsäuredüngungsversuchen, über welche bereits früher berichtet wurde. (Němec, 5.)

Versuche mit einseitiger Kalidüngung der Fichte.

Zur Anlegung der Versuche dienten normale Beete der Pflanzschulen von je 1 m Breite, welche auf je 5 m² gedüngt wurden. Die Beete wurden durch Streifen von je mindestens 30 cm Breite getrennt. Die Beete erhielten in sämtlichen Versuchen im ersten Versuchsjahre zu einjährig verschulten Fichten eine Kaligabe entsprechend 1,8 kg K_2O auf 100 m² im 40 %igen Kalisalz bzw. im Kainit (221,7 g 40,6 %igen Kalisalz und 632,0 g 14,24 %igen Kainit auf 5 m²). Im zweiten Versuchsjahre erhielten die 2jährigen Fichten eine zweite Kaligabe zwischen die Reihen ausgestreut, entsprechend 0,6 kg K_2O auf 100 m² (71,6 g 41,92 %igen Kalisalz und 195,6 g 15,34 %igen Kainit je 5 m² Beetfläche). Die Bodenproben wurden zwecks Durchführung mechanischer und chemischer Analysen vor dem Anlegen der Versuche genommen (0—20 cm). Die Kalidüngung wurde ohne jede weitere Grunddüngung einseitig durchgeführt.

Der Einfluß der Düngung auf das Wachstum der Fichte.

Um die Wuchsleistung der Fichten auf den Versuchsbeeten unter dem Einflusse der verabreichten Düngung verfolgen zu können, wurden zu Ende der Wachstumszeit jedes Jahr die Messungen von Pflanzenhöhen durchgeführt.

Daneben wurde das Wachstum der Fichten auch auf Grund der Entwicklung der oberirdischen Pflanzenteile sowie der Wurzeln beurteilt. Aus Raumersparnis werden diese Angaben hier nicht näher angeführt.

Die Einwirkung der Düngung auf die Wuchsleistungen wurde unter besonderer Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse, der Witterung während der Versuchsdauer sowie der chemischen Zusammensetzung der oberen Bodenschichten beurteilt. Insbesonders wurden die leichtlöslichen Pflanzennährstoffe und die Bodenreaktion berücksichtigt.

In den Bodenauszügen mit 1%iger Zitronensäurelösung schwankten die Kaligehalte der Versuchsböden zwischen 62,9 bis 462,4 mg K_2O in 1 kg Boden. Die Ergebnisse der Versuche wurden auf Grund der Phosphorsäureversorgung des Bodens in zwei Gruppen eingeteilt.

Die Fichtenböden bei Versuchen auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden mit Gehalten über 100 mg P_2O_5 (in 1 kg Boden) sind unter Berücksichtigung des Kaligehaltes derselben in der Übersicht 1 zusammengefaßt. Die Übersicht 2 bringt eine Zusammenstellung der durch die Kalidüngungen hervorgerufenen Unterschiede der Fichtenhöhen sowie der Fichtenzuwachse im zweiten Versuchsjahre (bei 3jährigen Fichten). Außerdem sind in den Übersichten auch die Austauschaziditäten und die Gehalte der Böden an austauschbarem Kalk angeführt.

Übersicht 1.

Der Einfluß der Kalidungung auf das Fichtenwachstum.
Böden mit P_2O_5-Gehalten über 100 mg/kg.

Versuch Nr.	Versuchsort	Boden		Fichtenhöhen cm					
		K_2O lösl. in 1% Zitron.-säure mg/kg	CaO lösl. in 10% NH_4Cl mg/100 g	ungedüngt		gedüngt mit			
						40% Kalisalz		Kainit	
				2jähr.	3jähr.	2jähr.	3jahr.	2jähr.	3jähr.
1	Petersburg*)	462,4	188	8,19	19,79	7,64	17,55	7,80	16,24
2	Útěchovice	304,3	175	5,97	16,87	6,84	16,81	5,69	10,65
3	Freistadt	233,2	595	5,77	13,01	4,45	9,98	—	—
4	Vestřev	217,6	665	3,90	10,28	3,84	8,48	3,48	9,26
5	Dianaberg	182,8	539	6,28	16,63	8,00	16,44	7,07	15,68
6	Báň. Štiavnice	172,6	738	13,10	25,55	12,72	25,05	12,69	24,43
7	Odrau	164,9	376	5,81	10,41	5,59	9,50	5,33	11,04
8	Horní Něměí	136,0	487	4,29	10,28	4,19	10,48	3,05	10,43
9	Sv. Ondrej	129,6	213	12,68	35,75	13,54	40,10	11,38	37,96
10	Böhm. Krumau	119,6	290	5,69	12,40	7,85	19,95	7,30	13,53
11	Řehořov	100,3	359	9,57	25,83	8,30	27,24	7,76	25,77
12	Freudenthal	93,5	70	6,24	18,37	6,29	16,44	5,34	14,17
13	Olleschau	89,2	238	9,99	15,15	8,12	15,08	7,94	15,84
14	Beňuš	84,5	168	9,00	22,70	9,00	25,78	8,00	20,98
15	Tisová	69,7	226	7,41	16,92	7,85	17,59	7,80	18,24
16	Chuchelná*)	68,0	495	15,57	29,67	13,75	27,62	15,35	18,24
17	Světlá n/Sáz.	67,1	120	—	11,93	—	10,78	—	8,76
18	Bünauburg	62,9	151	—	16,31	—	17,37	—	20,00
	Durchschnitt			**8,03**	**18,21**	**8,00**	**19,01**	**7,21**	**16,18**

*) 3 und 4jährige Fichten.

Übersicht 2.

Die Differenzen der Höhen und Zuwächse der Fichte auf gedüngten Beeten gegen ungedüngt.
Böden mit P_2O_5-Gehalten über 100 mg P_2O_5/kg.

Versuch Nr.	Boden		Differenzen der							
	K_2O lösl. in 1% Zitronensäure	pH Austauschazidität	Fichtenhöhen gedüngt gegen ungedüngt				Fichtenzuwächse 1931 gedüngt gegen ungedüngt			
			40% Kalisalz		Kainit		40% Kalisalz		Kainit	
			1930	1931	1930	1931	cm	%	cm	%
1	462,4	5,24	— 0,55	— 2,24	— 0,39	— 3,55	— 1,69	— 14,6	— 3,16	— 27,2
2	304,3	4,54	+ 0,87	— 0,06	— 0,28	— 6,22	— 0,93	— 8,5	— 5,94	— 54,5
3	233,2	6,93	— 1,32	— 3,03	—	—	— 1,71	— 23,6	—	—
4	217,6	6,92	— 0,06	— 1,80	— 0,42	— 1,02	— 0,60	— 9,4	— 1,74	— 27,3
5	182,8	6,02	+ 1,72	— 0,19	+ 0,79	— 0,95	— 1,91	— 18,5	— 1,74	— 16,8
6	172,6	6,05	— 0,38	— 0,50	— 0,41	— 1,12	— 0,12	— 1,0	— 0,71	— 5,7
7	158,9	5,26	— 0,22	— 0,91	— 0,48	+ 0,63	— 0,69	— 15,0	+ 1,11	+ 24,1
8	136,0	5,19	— 0,10	+ 0,20	— 1,24	+ 0,15	+ 0,30	+ 5,0	+ 1,39	+ 23,2
9	129,6	4,37	+ 0,86	+ 4,35	— 1,30	+ 2,21	+ 3,49	+ 15,1	+ 3,51	+ 15,2
10	119,6	4,26	+ 2,16	+ 7,55	+ 1,61	+ 1,13	+ 5,39	+ 80,3	— 0,48	— 7,2
11	100,3	4,84	— 1,27	+ 1,41	— 1,81	— 0,06	+ 2,68	+ 16,5	+ 1,75	+ 10,8
12	93,5	3,55	+ 0,05	— 1,93	— 0,90	— 4,20	— 1,98	— 16,3	— 3,30	— 27,2
13	89,2	4,33	— 1,87	— 0,07	— 2,05	+ 0,69	+ 1,80	+ 34,9	+ 2,74	+ 53,1
14	84,5	4,70	— 0,00	+ 3,08	— 1,00	— 1,72	+ 3,08	+ 22,5	— 0,72	— 5,2
15	69,7	4,40	+ 0,44	+ 0,67	+ 0,39	+ 1,32	+ 0,23	+ 2,4	+ 0,93	+ 9,8
16	68,0	6,93	— 0,82	— 2,05	+ 0,78	— 11,43	— 1,23	— 8,1	— 12,21	— 80,9
17	67,1	4,44	—	— 1,15	—	— 3,17	—	—	—	—
18	62,9	4,12	—	+ 1,06	—	+ 3,69	—	—	—	—
Durchschnitt			**— 0,03**	**+ 0,80**	**— 0,82**	**— 2,03**	**+ 0,38**	**+ 3,9**	**— 1,24**	**— 6,3**

Die Ergebnisse der Versuche auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden zeigen, daß eine wachstumsfördernde Einwirkung der Kalidüngung bei jungen Fichten nur in einigen Versuchen auftritt, insbesondere bei denen, welche auf Böden

Böden mit Gehalten unter

Kalkgehalt des Bodens mg CaO/100 g	Durchschnittliche Fichtenhöhen cm					
	Ungedüngt		40%iges Kalisalz		Kainit	
	1930	1931	1930	1931	1930	1931
359—168	8,58	20,16	8,93	23,67	8,21	20,84
151— 70	(6,24)	15,54	(+6,29)	14,86	(5,34)	14,31

Böden mit Gehalten über

Kalkgehalt des Bodens mg CaO/100 g	Durchschnittliche Fichtenhöhen cm					
	Ungedüngt		40%iges Kalisalz		Kainit	
	1930	1931	1930	1931	1930	1931
738—376	6,52	14,36	6,47	13,32	6,34	14,17
188—175	7,08	18,33	7,24	17,18	6,74	13,45

mit geringeren Kalivorräten (weniger als 130 mg K_2O im Auszuge 1 kg Bodens mit 1$^0/_0$iger Zitronensäure) angestellt wurden. Dabei beobachten wir, daß die günstige Kaliwirkung nur bei kalibedürftigen Böden zum Vorschein kommt, welche einen höheren Gehalt an austauschbarem Kalk aufweisen.

Die durchschnittlichen Fichtenhöhen (bei Ausscheiden des Versuches Nr. 16, welcher von dieser Regel eine Ausnahme macht) sind in der nachfolgenden Übersicht dargestellt:

Man kann wahrnehmen, daß auf kalibedürftigen und günstiger mit Phosphorsäure und austauschbaren Kalk versorgten Böden die Kalidüngung allgemein wachstumsfördernden Einfluß ausübte. Dagegen hat auf kalkarmen Böden die einseitige Düngung mit 40$^0/_0$igem Kalisalz und mit Kainit keine Wachstumsförderung hervorgerufen, trotz der ausgesprochenen Kalibedürftigkeit und der günstigeren Phosphorsäurevorräte der Böden. Bei den verabreichten Kaligaben wirkte die Kainitdüngung direkt wachstumsschädigend.

In der Versuchsgruppe auf kalireicheren und günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden konnten bei kalkreicheren und kalkarmen Böden folgende Differenzen der Fichtenhöhen und Fichtenzuwächse verzeichnet werden:

In der Versuchsgruppe auf kaliversorgten Böden bewirkte die einseitige Kalidüngung auf kalkreicheren Böden keine wesentlichen Änderungen der Wuchsleistungen der jungen Fichten. Bei kalkarmen Böden verzeichnen wir eine Herabsetzung des Höhenwachstums; besonders bei der einseitigen Kainitdüngung kommt ein sehr bedeutender Zuwachsrückgang zum Vorschein.

Der ungünstige Einfluß der Düngung mit Kainit und 40$^0/_0$igem Kalisalz auf das Wachstum der jungen Fichten kann unter bestimmten Bedingungen der Einwirkung von Chlorionen der Kalisalze zugeschrieben werden,

130 mg K_2O in 1 kg.

Differenzen der					
Fichtenhöhen cm				Fichtenzuwächse 1931 cm	
40$^0/_0$iges Kalisalz		Kainit		40$^0/_0$iges Kalisalz	Kainit
1930	1931	1930	1931		
+ 0,35	+ 3,51	— 0,37	+ 0,68	+ 3,16	+ 1,05
(+ 0,05)	— 0,68	(— 0,90)	— 1,23	(— 0,73)	— 0,33

130 mg K_2O in 1 kg.

Differenzen der					
Fichtenhöhen cm				Fichtenzuwächse 1931 cm	
40$^0/_0$iges Kalisalz		Kainit		40$^0/_0$iges Kalisalz	Kainit
1930	1931	1930	1931		
— 0,05	— 1,04	— 0,18	— 0,19	— 0,99	— 0,01
+ 0,16	— 1,15	— 0,34	— 4,88	— 1,31	— 4,54

Darauf hat bereits früher Manshard (5) aufmerksam gemacht. Bei meinem früheren Versuchen in Forstbaumschulen (6) hat die Düngung mit 40%igem Kalisalz besonders bei austauschsauren und chlorreichen Böden eine Herabsetzung des Fichtenwachstums hervorgerufen. Die Ursache der ungünstigen Wirkung von Kalisalzen war hier auf den Chlorgehalt der Düngersalze zurückzuführen. Später hat auch Jessen (7) auf Grund von Vegetationsversuchen mit jungen Nadelholzpflanzen diese Tatsache bestätigt.

Wenn wir in unserer Versuchsreihe auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden die Chlorgehalte des Bodens mit dem durch die Kalidüngung herbeigeführten Differenzen der Fichtenhöhen in Vergleich setzen, bekommt man folgendes Bild:

Versuch Nr.	Chlorgehalt mg Cl/kg wasserlöslich im Boden	Differenzen der				Menge der Niederschläge in 2 Monaten nach der Düngung mm	
		Fichtenhöhen 1931 cm		Fichtenzuwächse 1931 cm			
		40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit	1930	1931
16	239	— 2,05	— 11,43	— 1,23	— 12,21	102	167
4	82	— 1,80	— 1,02	— 0,60	— 1,74	63	130
3	70	— 3,03	— *)	1,71	— *)	137	161
1	71	— 2,24	— 3,55	— 1,69	— 3,16	103	156
2	67	— 0,06	— 6,22	— 0,93	— 5,94	108	130
10	47	+ 7,55	+ 1,13	+ 5,39	— 0,48	161	61
14	42	+ 3,08	— 1,72	+ 3,08	— 0,72	180	135
12	25	— 1,93	— 4,20	— 1,98	— 3,30	67	120
11	25	+ 1,41	— 0,06	+ 2,68	+ 1,75	96	131
15	22	+ 0,67	+ 1,32	+ 0,23	+ 0,93	214	89
17	12	— 1,15	— 3,17	—	—	81	121
5	11	— 0,19	— 0,95	— 1,91	1,74	90	115
9	11	+ 4,35	+ 2,21	+ 3,49	+ 3,51	191	168
6	9	— 0,50	— 1,12	— 0,12	— 0,71	162	148
18	5	+ 1,06	+ 3,69	—	—	140	102
13	4	— 0,07	+ 0,69	+ 1,80	+ 2,74	73	71
7	4	— 0,91	+ 0,63	— 0,69	+ 1,11	125	110
8	3	+ 0,20	+ 0,15	+ 0,30	+ 1,39	60	110

*) Sämtliche Fichten sind eingegangen.

Die durchschnittlichen Differenzen der Fichtenhöhen und Fichtenzuwächse auf chlorreichen (über 50 mg Cl in 1 kg) und chlorarmen Böden waren folgende:

Chlorgehalt der Bodens mg Cl/kg wasserlöslich	Durchschnittliche Differenzen der			
	Fichtenhöhen 1931 cm		Fichtenzuwächse 1931 cm	
	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
239—67	— 1,84	— 5,56	— 1,23	— 5,76
47— 3	+ 1,04	— 0,11	+ 1,12	+ 0,41

Die durchschnittlichen Differenzen der Fichtenhöhen und Fichtenzuwächse zeigen, daß auf chlorreichen Böden die Düngung mit Kalisalzen durchaus eine Herabsetzung des Wachstums

herbeigeführt hat. Auf chlorarmen Böden wurde bei der Düngung mit 40%igem Kalisalz eher eine günstige Wirkung auf das Fichtenwachstum erzielt.

Auf chlorarmen Böden kann man bei den Versuchen Nr. 12 und 17 den ungünstigen Einfluß eines wesentlichen Mangels an Regenniederschlägen auf die Auswirkung der Kalisalzdüngung wahrnehmen.

Die chlorreichen Böden waren vorwiegend gleichzeitig gut versorgt mit zugänglichen Kaliverbindungen; nur bei dem Versuch Nr. 16 handelte es sich um einen ausgesprochen kaliarmen Boden, auf welchem infolge seines extremen Chlorgehaltes besonders die Kainitdüngung eine sehr bedeutende Herabsetzung des Wachstums der Fichte herbeiführte.

Auf chlorarmen Böden wurden unter Berücksichtigung der Kaliversorgung des Bodens folgende durchschnittliche Differenzen der Fichtenhöhen bzw. Fichtenzuwächse durch die Kalidüngung erzielt:

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittliche Differenzen der			
	Fichtenhöhen 1931 cm		Fichtenzuwächse 1931 cm	
	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
182,8—136,0	— 0,35	— 0,32	— 0,61	+ 0,01
129,6— 62,9	+ 1,66	— 0,01	+ 2,10	+ 0,63

Die günstige Wirkung der Düngung mit 40%igem Kalisalz bei chlor- und kaliarmen Böden auf die Wuchsleistung der 3jährigen Fichte tritt sehr deutlich hervor; dagegen hat die Kainitdüngung auch unter diesen Bodenbedingungen versagt.

Die zweite Gruppe umfaßt Versuche, welche auf sehr phosphorsäurearmen Böden (mit Gehalten unter 100 mg P_2O_5 im Auszuge 1 kg Bodens mit 1%iger Zitronensäure) angestellt wurden.

Die Ergebnisse der Messungen von Fichtenhöhen im zweiten und dritten Jahre des Wachstums sind in den Übersichten 3 und 4 zusammengefaßt.

Auf phosphorsäurearmen Böden, welche gleichzeitig eine stark austauschsaure Reaktion aufweisen, hat die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit allgemein keine Steigerung des Wachstums hervorgerufen. In der Mehrzahl der Versuche zeigte sich eher eine schädliche Wirkung, die meistens bei der Kainitdüngung in einem noch stärkeren Umfange auftritt. Nur auf dem schwach austauschsauren Boden des Versuches Nr. 25 vermerken wir einen günstigen Einfluß der Düngung mit 40%igem Kalisalz auf die Wuchsleistung der jungen Fichte, die Kainitdüngung hat sich aber auch in diesem Falle als schädlich erwiesen. Als Ursache dieser ungünstigen Einwirkung der einseitigen Kalidüngung auf phosphorsäurearmen Böden kann die Störung des

Übersicht 3.

Der Einfluß der Kalidüngung auf das Fichtenwachstum.
Böden mit P_2O_5-Gehalten unter 100 mg/kg.

Versuch Nr.	Versuchsort	Boden: K_2O lösl. in 1 % Zitronensäure mg/kg	Boden: CaO lösl. in 10 % NH_4Cl mg/100 g	Fichtenhöhen cm: ungedüngt 2jähr.	ungedüngt 3jähr.	gedüngt mit 40 % Kalisalz 2jähr.	40 % Kalisalz 3jähr.	Kainit 2jähr.	Kainit 3jähr.
19	Ruda in Mähren	210,8	113	8,22	21,06	10,65	22,41	6,78	14,64
20	Ivanovice	204,0	158	6,20	18,58	6,42	17,70	6,24	12,47
21	Hradištko	197,2	210	5,01	23,63	5,06	21,40	5,20	14,40
22	Patek	175,2	185	8,78	19,63	8,57	20,42	7,13	16,94
23	V. Meziříčí	149,6	95	7,05	20,43	6,97	19,40	7,83	20,24
24	Hohenelbe	123,0	61	4,88	15,37	3,93	12,00	3,62	12,92
25	Bischofteinitz	103,7	272	9,69	23,53	10,42	25,94	9,35	21,39
26	Hennersdorf	91,0	322	—	13,96	—	13,51	—	13,00
27	Opatovice	90,1	149	7,65	21,37	6,05	14,71	5,61	12,91
28	Chust	84,7	160	7,08	18,89	4,70	14,93	6,03	14,62
			Durchschnitt	**7,17**	**19,65**	**6,97**	**18,24**	**6,42**	**15,35**

Übersicht 4.

Die Differenzen der Höhen und Zuwächse der Fichte auf gedüngten Beeten gegen ungedüngt.
Böden mit P_2O_5-Gehalten unter 100 mg P_2O_5/kg.

Versuch Nr.	Boden: K_2O lösl. in 1 % Zitronensäure	Boden: pH Austauschazidität	Differenzen der Fichtenhöhen gedüngt gegen ungedüngt: 40 %iges Kalisalz 1930	40 %iges Kalisalz 1931	Kainit 1930	Kainit 1931	Fichtenzuwächse 1931 gedüngt gegen ungedüngt: 40 %iges Kalisalz cm	40 %iges Kalisalz %	Kainit cm	Kainit %
19	210,8	3,88	+ 2,43	+ 1,35	— 1,44	— 6,42	— 1,08	— 8,4	— 4,98	— 39,1
20	204,0	4,46	+ 0,22	— 0,88	+ 0,04	— 6,11	— 1,10	— 8,9	— 6,15	— 49,7
21	197,2	4,49	+ 0,05	— 2,23	+ 0,19	— 9,23	— 2,28	— 12,2	— 9,42	— 50,6
22	175,2	3,90	— 0,21	+ 0,79	— 1,65	— 2,69	+ 1,00	+ 9,2	— 1,04	— 9,6
23	149,6	3,86	— 0,08	+ 1,03	+ 0,78	— 0,19	— 0,95	— 7,1	— 0,97	— 7,3
24	123,0	3,80	— 0,95	— 3,37	— 1,26	— 2,45	— 2,42	— 23,1	— 1,19	— 11,3
25	103,7	5,21	+ 0,73	+ 2,41	— 0,34	— 2,14	+ 1,68	+ 12,1	— 1,80	— 13,0
26	91,0	4,86	—	— 0,45	— 0,96	—	—	—	—	—
27	90,1	4,12	— 1,60	— 6,66	— 2,04	— 8,46	— 5,06	— 36,9	— 6,42	— 46,8
28	84,7	3,98	— 2,38	— 3,96	— 1,05	— 4,27	— 1,58	— 13,4	— 3,22	— 27,3
	Durchschnitt		**— 0,20**	**— 1,41**	**— 0,75**	**— 4,30**	**— 1,31**	**— 10,0**	**— 3,91**	**— 29,8**

Böden mit Gehalten unter

Kalkgehalt des Bodens mg CaO/100 kg	Durchschnittliche Fichtenhöhen cm: ungedüngt 1930	ungedüngt 1931	40 % Kalisalz 1930	40 % Kalisalz 1931	Kainit 1930	Kainit 1931
322—272	9,69	18,75	10,42	19,72	9,35	17,19
160 — 61	6,54	18,88	4,89	13,88	5,09	13,48

harmonischen Verhältnisses der Hauptnährstoffe im Boden und infolgedessen in der Pflanze angesehen werden. Besonders der Kalkgehalt und die Reaktion des Bodens scheint hier eine ausschlaggebende Rolle zu spielen, ähnlich wie bei der früher angeführten Versuchsgruppe auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden.

Die durchschnittlichen Unterschiede der Fichtenhöhen und im Zuwachs bei Versuchen auf kaliarmen Böden sind in Vergleich zu der Kalkversorgung des Bodens in der nachfolgenden Übersicht gesetzt:

Auf günstiger mit austauschbarem Kalk versorgten Böden bewirkte die Düngung mit 40%igem Kalisalz eine leichte Wachstumssteigerung. Sonst vermerken wir auf kalkarmen Böden eine starke Verminderung der Wuchsleistungen durch die Kalisalz- und Kainitdüngung, trotz der Kalibedürftigkeit der Böden.

Der Einfluß der Düngung auf die Fichtenverluste.

Die Düngung mit chlorhaltigen Kalisalzen hat bei den verwendeten Düngemittelgaben in vielen Fällen einen ungünstigen Einfluß auf das Wachstum der jungen Fichten ausgeübt. Die Farbe der Nadeln hat in der Mehrzahl der Versuche eine gelblich grüne und später bis rotbraune Farbe angenommen und in diesen Fällen sind große Pflanzenverluste eingetreten.

Die Fichtenverluste, welche auf die Einwirkung der Witterungsverhältnisse, insbesondere des Niederschlagsmangels, während des Wachstums und auf den Einfluß der Düngemittel zurückgeführt werden können, sind in den Übersichten 5 und 6 in Vergleich zu dem Zeitabstande zwischen dem Ausstreuen der Düngemittel und dem Verschulen der Sämlinge gestellt.

Dabei wurden Versuche Nr. 1, 2, 3, 9, 11 und 21, bei welchen Beschädigungen und Abgänge durch tierische Schädlinge (Engerlinge, Mäuse, u. a.) eingetreten waren, ausgeschieden. Die Zusammenstellung der Fichtenverluste bei einem größerem Abstande der Düngung von der Verschulung berücksichtigt gleichzeitig auch die Versorgung der Pflanzen mit Niederschlägen während der zwei Monate nach der verabreichten Düngung.

Die Verluste an jungen Fichtenpflanzen sind von der zeitlichen Anwendung der Düngung stark abhängig; daneben werden die Pflanzenverluste auch durch die Wasserversorgung des Bodens nach der durchgeführten Düngung beeinflußt. Über den Einfluß des Zeitabstandes zwischen der Düngung und Verschulung der Fichten unterrichtet die nachfolgende Übersicht:

130 K_2O mg in 1 kg.

Differenzen der					
Fichtenhöhen cm				Fichtenzuwächse cm	
40% Kalisalz		Kainit		40% Kalisalz	Kainit
1930	1931	1930	1931	1931	1931
+ 0,73	+ 0,97	− 0,34	− 1,56	+ 0,24	− 1,22
− 1,65	− 5,00	− 1,45	− 5,40	− 3,35	− 3,95

Übersicht 5.

Die Fichtenabgänge. Die Düngemittel wurden 14—42 Tage vor der Verschulung ausgestreut.

Versuch Nr.	Menge der Niederschläge in 2 Monaten nach der Düngung mm	Die Düngemittel ausgestreut vor der Verschulung (Tage)	Fichtenabgänge %					
			ungedüngt		40% Kalisalz		Kainit	
			2jähr. Fichten	3jähr. Fichten	2jähr. Fichten	3jähr. Fichten	2jähr. Fichten	3jähr. Fichten
6	162	16	0,7	8,2	0,4	7,3	4,0	6,9
14	180	23	1,7	7,0	2,2	8,0	12,0	12,8
24	167	23	0,6	2,5	0,9	3,0	7,1	11,5
26	167	24	—	12,2	—	16,1	—	30,0
15	214	26	0,4	0,9	1,2	7,5	0,6	2,7
10	161	35	3,6	8,4	8,1	9,8	19,7	23,2
Durchschnitt			**1,4**	**6,5**	**2,6**	**8,6**	**8,7**	**14,5**
22	129	20	4,1	6,5	13,6	22,0	48,4	58,0
12	67	21	4,9	5,5	7,8	11,8	42,5	47,7
7	125	22	5,2	21,5	20,8	22,0	12,6	12,6
23	98	42	4,8	6,3	3,5	6,1	8,5	18,4
Durchschnitt			**4,8**	**10,0**	**11,4**	**15,5**	**28,0**	**34,2**

Übersicht 6.

Die Fichtenabgänge. Die Düngemittel wurden 7—14 Tage vor, bei oder nach der Verschulung ausgestreut.

Versuch Nr.	Menge der Niederschläge in 2 Monaten nach der Düngung mm	Die Düngemittel ausgestreut vor oder nach Verschulung (Tage)	Fichtenabgange %					
			ungedüngt		40% Kalisalz		Kainit	
			2jähr. Fichten	3jähr. Fichten	2jähr. Fichten	3jähr. Fichten	2jähr. Fichten	3jähr. Fichten
27	104	7 vor	4,1	8,7	9,0	18,4	55,0	61,2
4	63	10 vor	3,8	8,3	7,4	18,8	43,0	66,8
17	81	10 vor	—	2,1	—	4,7	—	10,0
25	142	10 vor	3,1	6,7	4,7	4,8	20,3	22,7
28	257	14 vor	10,6	15,0	36,7	40,0	35,3	50,5
Durchschnitt			**5,4**	**8,2**	**14,5**	**17,3**	**38,4**	**42,2**
16	102	½ bei, der Rest 38 nach	—	2,2	10,6	14,1	35,3	41,9
13	73	bei	14,3	29,7	20,8	31,2	67,6	70,7
8	60	20 nach	7,4	16,7	9,3	21,7	18,5	50,3
20	81	21 nach	7,5	20,0	28,9	35,7	83,2	83,2
Durchschnitt			**7,3**	**17,2**	**17,4**	**25,7**	**51,2**	**61,5**

Die Fichtenverluste, welche auf die Einwirkung der Düngung mit Kalisalz und Kainit zurückgeführt werden können, steigen wesentlich mit der Verringerung des Zeitabstandes zwischen dem

Zeit der Düngung	Abgänge %						Differenzen der Abgänge			
	ungedüngt		40% Kalisalz		Kainit		40% Kalisalz		Kainit	
	2jähr.	3jähr.	2jähr.	3jähr.	2jähr.	3jähr.	2jähr.	3jähr.	2jähr.	3jähr.
42–26 Tage vor der Verschulung	2,9	5,2	4,3	7,8	9,6	14,8	– 1,4	– 2,6	– 6,7	– 9,6
24–16 Tage vor der Verschulung	2,9	9,1	7,6	12,9	21,1	25,6	– 4,7	– 3,8	– 18,2	– 16,5
14–7 Tage vor der Verschulung	5,4	8,2	14,5	17,3	38,4	42,2	– 9,1	– 9,1	– 33,0	– 34,0
Bei oder nach der Verschulung	7,3	17,2	17,4	25,7	51,2	61,5	– 10,1	– 8,5	– 43,9	– 44,5

Ausstreuen der Düngemittel und der Verschulung der Fichtensämlinge. Die Kainitdüngung führte zu weit größeren Fichtenabgängen als die Düngung mit 40%igem Kalisalz. Wird die Düngung 4–6 Wochen vor der Verschulung durchgeführt, so sind die Pflanzenverluste bei Anwendung des 40%igen Kalisalzes ganz gering; die Kainitdüngung führte jedoch auch bei dieser zeitlichen Anwendung durchschnittlich zu wesentlicheren Fichtenabgängen. Sehr stark wirkte die einseitige Düngung mit Kainit, wenn sie kurz vor oder sogar nach der Verschulung der Sämlinge verabreicht wurde. Die Verluste betrugen für diesen Fall 35–45%.

Wenn auch ein genügender Abstand zwischen der Düngungs- und Verschulungszeit eingehalten wird, muß mit einer Erhöhung der Verluste durch Mangel an Niederschlägen in der Zeit nach dem Ausstreuen der Düngemittel gerechnet werden (siehe Übersicht 5).

Der Einfluß der Düngung auf die Kaliaufnahme der Fichtennadeln.

Ähnlich wie der Phosphorsäuregehalt, unterliegt auch der Kaligehalt in der Trockensubstanz der Fichtennadeln je nach Herkunft der Sämlinge und den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodensubstrats wesentlichen Schwankungen.

Die Änderungen des Kaligehaltes in der Trockensubstanz von Fichten verschiedenen Alters zeigen die Schrifttumsangaben von Dulk (3), Councler-Schütze (9), Schroeder (1) und Manshard (4), welche in nachstehender Übersicht zusammengestellt sind:

Verfasser Lokalität	% K_2O in der Trockensubstanz			
	1jährige Fichten	2jährige Fichten	3jährige Fichten	4jährige Fichten
Dulk, Hohenheim	0,658	0,555	—	0,494
Schütze, Eberswalde	0,484	0,371	—	—
v. Schroeder, Tharandt	1,020	0,710	0,750	—
Manshard, Halstenbek	0,950	0,810	0,640	0,620

Mit zunehmenden Alter zeigt sich eine Abnahme des Kaligehaltes in der Trockensubstanz der jungen Fichten. Auch Süchting (10) fand, daß der Kaligehalt 1jähriger Fichten (0,94%) fast doppelt so hoch war wie bei den

2jährigen (0,58%) und erklärt diese Tatsache zum Teil durch die zunehmende Ausbildung des Holzkörpers und andererseits durch die steigende Erschöpfung des Bodens.

In unserer Versuchsreihe wurden die Nadeln einjähriger Fichtensämlinge, die zum Verschulen verwendet wurden, bei 15 Versuchen auf den Kaligehalt untersucht und mit der Kaliaufnahme der Nadeln von 3jährigen Fichten in Vergleich gesetzt.

Unter Berücksichtigung des Kali- und Phosphorsäuregehaltes des Bodens können nachstehende Änderungen der Kaligehalte festgestellt werden (Übersicht 7 und 8):

Übersicht 7.

Die Kaligehalte der Nadeln 1jähriger und 3jähriger Fichten. Böden mit Gehalten über 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden: K_2O mg/kg zitronensäurelösl.	Boden: pH Austauschazidität	% K_2O in der Trockensubstanz der Nadeln: 1jährige Fichten	% K_2O in der Trockensubstanz der Nadeln: 3jährige Fichten	Differenz % K_2O: absolut	Differenz % K_2O: relativ
1*)	462,4	5,24	1,042	1,222	+ 0,180	+ 17,3
2	304,3	4,54	0,702	1,097	+ 0,395	+ 56,3
3	233,2	6,93	0,680	1,142	+ 0,462	+ 67,9
4	217,6	6,92	1,067	1,223	+ 0,156	+ 14,6
7	158,9	5,26	0,691	0,729	+ 0,038	+ 5,5
9	129,6	4,37	0,673	0,863	+ 0,190	+ 28,2
12	93,5	3,55	0,957	0,882	− 0,075	− 7,9
14	84,5	4,70	0,863	0,870	+ 0,007	+ 0,8
16*)	68,0	6,93	0,872	0,887	+ 0,015	+ 1,7

*) Nadeln 2jähriger und 4jähriger Fichten.

In der Versuchsgruppe auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden wurde der Kaligehalt der Nadeln während des Wachstums der Fichte erhöht. Ein wesentlicher Unterschied zeigt sich allgemein in der Steigerung der Kaliaufnahme auf kaliversorgten und kaliarmen Böden:

Kaligehalt des Boden mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Gehalt der Nadelntrockensubstanz % K_2O: 1jährige Fichten	Durchschnittlicher Gehalt der Nadelntrockensubstanz % K_2O: 3jährige Fichten	Differenz % K_2O: absolut	Differenz % K_2O: relativ
462,4—129,6	0,809	1,046	+ 0,237	+ 29,3
93,5— 68,0	0,897	0,880	− 0,017	− 1,9

Durchschnittlich vermerken wir eine wesentliche Steigerung der Kaliaufnahme bei Versuchen auf ausreichend mit Kali verversorgten Böden. Dagegen auf kaliarmen Böden wurde die Kaliaufnahme nur wenig verändert.

Auf phosphorsäurearmen Böden sind die Änderungen der Kaligehalte in Nadeln im Verlaufe des Fichtenwachstums vom ersten bis zum dritten Jahre in der Übersicht 8 zusammengestellt:

Übersicht 8.

Die Kaligehalte der Nadeln 1jähriger und 3jähriger Fichten.
Böden mit Gehalten unter 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden		% K_2O in der Trockensubstanz der Nadeln		Differenz % K_2O	
	K_2O mg/kg zitronensäurelösl.	pH-Austausch-Azidität	1jährige Fichten	3jährige Fichten	absolut	relativ
19	210,8	3,88	0,686	0,825	+ 0,159	+ 23,2
20	204,0	4,46	0,669	0,798	+ 0,129	+ 19,3
21	197,2	4,49	0,766	1,165	+ 0,399	+ 52,1
22	175,2	3,90	0,692	0,744	+ 0,052	+ 7,5
23	149,6	3,86	0,796	0,888	+ 0,092	+ 11,6
27	90,1	4,12	0,751	0,824	+ 0,073	+ 9,7

Auch bei phosphorsäurearmen Böden, welche durchwegs stark austauschsaure Reaktion aufwiesen, wurde die Kaliaufnahme der Nadeln während des Wachstums gesteigert. Die Grenze des Kaligehaltes im Boden, welche einen stärkeren Anstieg bedingt, scheint jedoch bei dieser Versuchsgruppe höher zu liegen als bei günstigeren Phosphorsäurevorräten des Bodens:

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Gehalt der Nadeltrockensubstanz % K_2O		Differenz % K_2O	
	1jährige Fichten	3jährige Fichten	absolut	relativ
210,8 – 197,2	0,707	0,929	+ 0,222	+ 31,4
175,2 – 90,1	0,746	0,819	+ 0,073	+ 9,8

Eine Abhängigkeit der Veränderungen der Kaliaufnahmen von der Bodenreaktion kann bei diesen Untersuchungen nicht wahrgenommen werden, obzwar nach Süchting (11) die relative Kaliaufnahme von der Bodenazidität bzw. von der Versorgung der Holzpflanzen mit Kalk abhängig zu sein scheint.

In den Nadeln ungedüngter und gedüngter 3jähriger Fichten schwankten die Kaligehalte in ziemlich breiten Grenzen zwischen 0,539—1,223% K_2O in der Trockensubstanz. Diese Schwankungen des Kaligehaltes müssen hauptsächlich der Verschiedenheit der Nährstoffversorgung des Bodens zugeschrieben werden. Im Durchschnitt der einzelnen Versuchsgruppen, die auf Grund der abgestuften Gehalte der Böden an zitronensäurelöslichem Kali aufgestellt wurden, finden wir folgende Kaliaufnahmen der Fichtennadeln:

Auf den ungedüngten Beeten wird allgemein die Kaliaufnahme der Nadeln mit abnehmenden Gehalten des Bodens an zitronensäure- und salzsäurelöslichem Kali allmählich herabgesetzt. Der Kaligehalt des Bodens ist demnach für die Kaliaufnahme der Fichtennadeln ausschlaggebend.

Anders verhalten sich die Kaligehalte der Nadeln bei den gedüngten Beeten. Durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz wird

Boden				% K_2O in der Nadeltrockensubstanz				
K_2O löslich in 1% Zitronensäure mg/kg		K_2O % löslich in 10% HCl Durchschnitt	Relative Löslichkeit des K_2O % Durchschnitt	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	Differenz	
Gruppe	Durchschnitt						40%iges Kalisalz	Kainit
über 200	272,1	0,166	16,9	1,051	0,876	0,860	— 0,175	— 0,191
160—200	178,5	0,162	11,0	0,919	0,888	0,812	— 0,031	— 0,107
100—160	127,7	0,146	8,7	0,854	0,836	0,802	— 0,018	— 0,054
70—100	88,4	0,093	9,5	0,832	0,915	0,803	+ 0,083	— 0,029
unter 70	66,0	0,097	6,8	0,829	1,064	1,065	+ 0,235	+ 0,236

im Durchschnitt der einzelnen Versuchsgruppen mit Abnahme des Kaligehaltes im Boden der Nadelnkaligehalt zuerst wenig verändert, und erst bei den ausgesprochen kaliarmen Böden (mit Gehalten unter 100 mg K_2O/kg) wird dieser wesentlich erhöht. Bei den am besten mit Kali versorgten Böden vermerken wir eine deutliche Senkung des Kaligehaltes bei den Nadeln der gedüngten Pflanzen, die mit Herabsetzung des Bodenkaligehaltes allmählich abnimmt, um endlich bei den kaliärmsten durchgreifend zu steigen. Somit wurde die Kaliernährung der jungen Fichten auf kaliarmen Böden durch die Kalisalzdüngung merkbar unterstützt. Andererseits hat die einseitige Düngung mit Kainit auf den

Übersicht 9.

Die Kaliaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten über 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden			K_2O in der Nadeltrockensubstanz %			Differenz gegen ungedüngt % K_2O	
	K_2O mg/kg zitronensäurelöslich	K_2O % löslich in 10% HCl	pH-Austauschazidität	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
1*)	462,4	0,250	5,24	1,222	1,114	1,015	— 0,108	— 0,207
2	304,3	0,352	4,54	1,097	0,926	0,773	— 0,171	— 0,324
3	233,2	0,053	6,93	1,142	1,075	— **)	— 0,067	— **)
4	217,6	0,125	6,92	1,223	1,011	0,972	— 0,212	— 0,251
5	182,8	0,220	6,02	0,963	0,869	0,858	— 0,094	— 0,105
6	172,6	0,138	6,05	0,996	1,032	0,764	+ 0,036	— 0,232
7	164,9	0,138	5,26	0,729	0,691	0,761	— 0,038	+ 0,032
8	136,0	0,113	5,19	0,794	0,770	0,670	— 0,024	— 0,124
9	129,6	0,119	4,37	0,863	0,822	0,951	— 0,041	+ 0,088
10	119,6	0,085	4,26	0,770	0,779	0,800	+ 0,009	+ 0,030
12	93,5	0,085	3,55	0,882	0,944	0,854	+ 0,062	— 0,028
13	89,2	0,061	4,33	0,809	1,018	0,832	+ 0,209	+ 0,023
14	84,5	0,088	4,70	0,870	1,007	0,833	+ 0,137	— 0,037
16*)	68,0	0,187	6,93	0,887	1,386	1,011	+ 0,499	+ 0,124
17	67,1	0,045	4,44	0,963	0,930	1,276	— 0,033	+ 0,313
18	62,9	0,040	4,12	0,637	0,876	0,907	+ 0,239	+ 0,270

*) Nadeln 4jähriger Fichten.
**) Die sämtlichen Pflanzen sind eingegangen.

kalireicheren Böden eine Abnahme des Nadelnkaligehaltes hervorgebracht und erst bei der Versuchsgruppe auf den kaliärmsten Böden kommt es zu einer sehr deutlichen Förderung des Kaligehaltes. Die durch die Kainitdüngung verursachten Differenzen der Kaliaufnahmen verhalten sich ähnlich wie bei der Düngung mit 40%igem Kalisalz.

Die Einzelergebnisse der Untersuchungen, geordnet nach den Kali- und Phosphorsäuregehalten der Böden, sind in den Übersichten 9 und 10 zusammengestellt:

Übersicht 10.

Die Kaliaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten unter 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden: K_2O mg/kg zitronensäurelöslich	Boden: K_2O % löslich in 10% HCl	Boden: pH Austauschazidität	% K_2O in der Nadelntrockensubstanz: ungedüngt	% K_2O in der Nadelntrockensubstanz: 40%iges Kalisalz	% K_2O in der Nadelntrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % K_2O: 40%iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % K_2O: Kainit
19	210,8	0,081	3,88	0,825	0,539	0,914	− 0,286	+ 0,089
20	204,0	0,135	4,46	0,798	0,591	0,658	− 0,207	− 0,140
21	197,2	0,149	4,49	1,165	1,185	0,931	+ 0,020	− 0,234
22	175,2	0,167	3,90	0,744	0,663	0,746	− 0,081	+ 0,002
23	149,6	0,229	3,86	0,888	0,921	0,848	+ 0,033	− 0,040
25	103,7	0,183	5,21	0,954	0,886	0,741	− 0,068	− 0,213
27	90,1	0,176	4,12	0,824	0,968	0,786	+ 0,144	+ 0,038
28	84,7	0,056	3,98	0,774	0,638	0,708	− 0,136	− 0,066
			Durchschnitt	**0,871**	**0,799**	**0,792**	**− 0,072**	**− 0,079**

Bei Versuchen auf Böden mit günstigeren Phosphorsäuregehalten zeigte die Düngung allgemein eine deutlichere Herabsetzung der Kaliaufnahme auf kaliversorgten Böden und andererseits eine wesentlichere Steigerung der Kaliaufnahme auf kaliarmen Böden im Vergleich zu der Versuchsgruppe auf stark phosphorsäurearmen Böden.

Versuchsgruppe auf Böden mit P_2O_5-Gehalten über 100 mg/kg.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnitt % K_2O in der Nadelntrockensubstanz: ungedüngt	Durchschnitt: 40%iges Kalisalz	Durchschnitt: Kainit	Differenzen des K_2O-Gehaltes der Nadeln gegen ungedüngt %: 40%iges Kalisalz absolut	40%iges Kalisalz relativ	Kainit absolut	Kainit relativ
über 200	1,171	1,032	0,920	− 0,139	− 11,9	− 0,251	− 21,4
160—200	0,896	0,864	0,794	− 0,032	− 3,6	− 0,102	− 11,4
100—160	0,809	0,790	0,807	− 0,019	− 2,3	− 0,002	− 0,3
70—100	0,854	0,990	0,840	+ 0,136	+ 15,9	− 0,014	− 1,6
unter 70	0,829	1,064	1,065	+ 0,235	+ 28,4	+ 0,236	+ 28,5

Bei günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden steht die Wirkung der Kalisalzdüngung in regelmäßigen Beziehungen zu

Versuchsgruppe auf Böden mit P_2O_5-Gehalten unter 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnitt % K_2O in der Nadeltrockensubstanz			Differenzen des K_2O-Gehaltes der Nadeln gegen ungedüngt %			
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz		Kainit	
				absolut	relativ	absolut	relativ
über 200	0,814	0,565	0,786	— 0,249	— 30,6	— 0,028	— 3,4
160—200	0,854	0,924	0,838	+ 0,070	+ 8,2	— 0,016	— 1,9
100—160	0,921	0,903	0,794	— 0,022	— 2,4	— 0,127	— 13,9
unter 100	0,799	0,803	0,797	— 0,004	— 0,5	— 0,002	— 0,3

der Kaliversorgung des Bodens: ein allmählicher Abfall des Kaligehaltes mit abnehmenden Kalivorräten des Bodens, der in eine deutliche Förderung der Kaliernährung bei den kaliärmsten Böden übergeht. Leiden jedoch die Fichten unter einem Phosphorsäuremangel, so ist die Wirkung der Kalidüngung unregelmäßig und die Steigerung der Kaliaufnahme kommt auch bei den kaliärmsten Böden nicht zum Ausdruck.

In Beziehung zu der Kalkversorgung des Bodens können folgende Wirkungen der Kalidüngung auf die Kaliaufnahme der Nadeln verzeichnet werden:

Phosphorsäuregehalt des Bodens über 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Kalkgehalt des Bodens mg CaO/kg	Durchschnittlich % K_2O in der Nadelntrockensubstanz			Differenzen des K_2O-Gehaltes der Nadeln gegen ungedüngt %			
		ungedüngt	40%ig. Kalisalz	Kainit	40%ig. Kalisalz		Kainit	
					absolut	relativ	absolut	relativ
über 130	738—539	1,081	0,997	0,865	—0,084	— 7,7	—0,216	—20,0
	487—175	0,961	0,875	0,805	—0,086	— 8,9	—0,156	—16,2
unter 130	495—213	0,832	1,001	0,899	+0,169	+ 20,3	+0,067	+ 8,1
	168— 70	0,838	0,939	0,967	+0,101	+ 12,1	+0,129	+15,4

Aus den Durchschnittsgehalten der Nadeln bei den einzelnen Versuchsgruppen ist ersichtlich, daß auf kaliversorgten Böden durch die einseitige Kalisalzdüngung die Kaliaufnahme nur leicht herabgesetzt wurde, durch die Kainitdüngung aber eine starke Verminderung der Kaliaufnahme eingetreten ist. Auf kaliarmen Böden wurde die Kaliaufnahme gefördert und zwar durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz mehr bei den kalkversorgten, bei der Kainitdüngung mehr bei den kalkarmen Böden.

Der Einfluß der Düngung auf die Stickstoffaufnahme der Fichtennadeln.

Die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit hat im Gesamtdurchschnitt einzelner Versuchsgruppen auf stickstoffreichen Böden (mit Gehalten über 0,250% Gesamtstickstoff) die Stickstoffaufnahme der Nadeln herabgesetzt, auf stickstoffarmen Böden vermerken wir eher eine Steigerung der Stickstoffgehalte:

Gesamtstickstoffgehalt des Bodens % N	% N in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % N	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalsalz	Kainit
über 0,250	2,272	2,090	2,074	−0,182	−0,198
0,250—0,200	1,990	1,915	2,160	−0,075	+0,170
0,200—0,150	2,068	2,168	2,030	+0,100	−0,038
unter 0,150	2,427	2,490	2,537	+0,063	+0,110

Die Änderungen der Stickstoffaufnahme durch die Kalisalzdüngung bei den einzelnen Versuchen sind in den Übersichten 11 und 12 je nach der relativen Löslichkeit des Bodenstickstoffs (% N löslich in 1%iger Kaliumsulfatlösung, ausgedrückt in % des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens) auf phosphorsäureversorgten und phosphorsäurearmen Böden zusammengefaßt.

Übersicht 11.

Die Stickstoffaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten über 160 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden N			% N in der Nadelntrockensubstanz				
	Gesamtgehalt %	löslich in 1 % K_2SO_4 mg/kg	relative Löslichkeit %	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	Differenz	
							40%iges Kalisalz	Kainit
5	0,102	86,6	8,49	2,320	2,681	2,372	+ 0,361	+ 0,052
16	0,202	70,7	3,50	1,702	1,703	2,403	+ 0,001	+ 0,701
4	0,145	48,5	3,34	2,697	2,877	3,002	+ 0,180	+ 0,305
1	0,161	49,4	3,01	1,990	2,032	2,343	+ 0,042	+ 0,353
13	0,213	44,0	2,07	2,146	2,179	2,599	+ 0,033	+ 0,453
6	0,219	44,9	2,05	2,553	2,601	2,636	+ 0,048	+ 0,083
3	0,187	36,8	1,97	2,566	2,632	—	+ 0,066	—
2	0,317	60,1	1,90	2,018	1,744	1,862	— 0,274	— 0,156
7	0,185	25,1	1,36	2,393	2,285	2,176	— 0,108	— 0,217
8	0,274	34,1	1,33	2,625	2,512	2,437	— 0,113	— 0,188

Übersicht 12.

Die Stickstoffaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten unter 160 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden N			% N in der Nadelntrockensubstanz				
	Gesamtgehalt %	löslich in 1 % K_2SO_4 mg/kg	relative Löslichkeit %	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	Differenz	
							40%iges Kalisalz	Kainit
21	0,135	54,8	4,06	2,309	2,305	2,353	— 0,004	+ 0,044
20	0,109	43,1	3,95	2,383	2,098	2,420	— 0,285	+ 0,037
27	0,179	62,8	3,51	2,164	2,383	2,274	+ 0,219	+ 0,110
14	0,335	110,4	3,29	2,358	2,275	2,001	— 0,083	— 0,357
28	0,343	102,5	2,99	2,649	2,704	2,586	+ 0,055	— 0,063
12	0,196	56,6	2,94	1,693	2,176	1,565	+ 0,483	— 0,128
10	0,205	54,2	2,64	2,233	1,981	2,097	— 0,252	— 0,136
22	0,361	86,2	2,39	2,441	2,193	2,340	— 0,248	— 0,101
9	0,274	63,7	2,32	1,458	1,059	1,282	— 0,399	— 0,176
23	0,257	58,3	2,27	2,355	2,144	2,008	— 0,211	— 0,347
17	0,196	42,2	2,15	2,047	2,240	2,358	— 0,193	+ 0,311
25	0,189	35,0	1,85	1,624	1,328	1,406	— 0,296	— 0,218
18	0,238	42,2	1,77	2,125	1,973	2,122	— 0,152	— 0,003
19	0,217	29,6	1,36	1,179	1,055	1,104	— 0,124	— 0,075

Bei der Versuchsgruppe auf phosphorsäureversorgten Böden bemerken wir, daß durch die einseitige Kalidüngung auf Böden mit höherer relativer Stickstofflöslichkeit die Stickstoffaufnahme deutlich zunimmt, während auf Böden mit geringerer Stickstofflöslichkeit eine wesentliche Herabsetzung des Stickstoffgehalts der Nadeln bewirkt wurde:

Relative Stickstofflöslichkeit im Boden °/₀	Durchschnittlicher Stickstoffgehalt der Nadelntrockensubstanz °/₀ N			Differenz gegen ungedüngt °/₀ N	
	ungedüngt	40°/₀iges Kalisalz	Kainit	40°/₀iges Kalisalz	Kainit
8,49—3,01	2,177	2,323	2,530	+ 0,146	+ 0,207
2,07—1,97	2,422	2,471	2,617	+ 0,049	+ 0,195
1,90—1,33	2,345	2,180	2,158	— 0,165	— 0,187

Die Stickstoffaufnahme hat am meisten bei den höchsten Löslichkeiten des Bodenstickstoffs zugenommen, mehr durch die Kainit- als durch Kalisalzdüngung. Sinkt die Stickstofflöslichkeit unter 2°/₀ herab, wird der Stickstoffgehalt der Fichtennadeln wesentlich herabgesetzt. Dabei bemerken wir, daß die Steigerung der Stickstoffaufnahme durch einseitige Kainitdüngung auf stark kaliarmen Böden größer ist als auf günstiger mit Kali versorgten Böden:

Relative Stickstofflöslichkeit im Boden 8,49—1,97 °/₀.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Stickstoffgehalt der Nadelntrockensubstanz °/₀ N			Differenz gegen ungedüngt °/₀ N	
	ungedüngt	40°/₀iges Kalisalz	Kainit	40°/₀iges Kalisalz	Kainit
68,0— 89,2	1,924	1,941	2,501	+ 0,017	+ 0,577
172,6—462,4	2,425	2,566	2,588	+ 0,141	+ 0,163

Bei der Versuchsgruppe auf phosphorsäurearmen Böden (mit Gehalten unter 160 mg P_2O_5 im 1°/₀igen Zitronensäureauszug 1 kg Bodens) sind die durch einseitige Kalidüngung hervorgerufenen Änderungen der Stickstoffgehalte der Nadeln nicht eindeutig. Trotzdem stimmen die Ergebnisse mit der vorangehenden Versuchsgruppe auf phosphorsäureversorgten Böden insofern überein, daß auf Böden mit geringster Stickstofflöslichkeit (unter 2°/₀) allgemein eine merkbare Verminderung der Stickstoffaufnahme der Nadeln stattgefunden hat. In den restlichen Versuchen ist es teilweise zu einer Steigerung, meistens jedoch zur Herabsetzung der Stickstoffaufnahme gekommen. Im Gesamtdurchschnitt ergeben sich aus den Nadeluntersuchungen folgende Mittelwerte:

Vom Standpunkte der Kaliversorgung des Bodens kann verzeichnet werden, daß durch die einseitige Düngung mit 40°/₀igem Kalisalz eine Steigerung der Stickstoffaufnahme der Nadeln nur auf den kaliärmsten Böden hervorgerufen wurde:

Relative Stickstofflöslichkeit im Boden %	Durchschnittlicher Stickstoffgehalt der Nadelntrockensubstanz % N			Differenz gegen ungedüngt % N	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
4,06—2,99	2,373	2,353	2,307	— 0,020	— 0,066
2,94—2,15	2,038	1,966	1,946	— 0,072	— 0,092
1,85—1,36	1,643	1,452	1,544	— 0,191	— 0,099

Relative Stickstofflöslichkeit im Boden 4,06—2,15%.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Stickstoffgehalt der Nadelntrockensubstanz % N			Differenz gegen ungedüngt % N	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
204,0—119,6	2,197	1,963	2,067	— 0,234	— 0,130
93,5— 67,1	2,182	2,356	2,157	+ 0,174	— 0,025

Sonst wurde durch die Kalidüngung im Durchschnitte auf phosphorsäurearmen Böden die Stickstoffaufnahme vermindert.

Der Einfluß der Düngung auf die Phosphorsäureaufnahme der Fichtennadeln.

Die durchschnittlichen Phosphorsäuregehalte in der Nadelntrockensubstanz 3jähriger Fichten nehmen allgemein mit dem Herabsetzen der Phosphorsäurevorräte im Boden ab:

Phosphorsäuregehalt des Bodens löslich in 1% Zitronensäure mg P_2O_5/kg	% P_2O_5 in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % P_2O_5	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
über 250	0,916	0,827	0,866	0,089	— 0,050
160—250	0,835	0,772	0,769	— 0,063	— 0,066
100—160	0,692	0,696	0,750	+ 0,004	+ 0,058
60—100	0,628	0,623	0,617	— 0,005	— 0,011
unter 60	0,567	0,498	0,548	— 0,069	— 0,019

Mit Abnahme des Phosphorsäuregehaltes des Bodens wird die Aufnahme dieses Nährstoffes bei ungedüngten Beeten herabgesetzt; die durch Kalidüngung hervorgerufenen Änderungen der P_2O_5-Aufnahme der Nadeln zeigen im Durchschnitt jedoch keine regelmäßigen Beziehungen zu den Phosphorsäuregehalten des Bodens.

Die Einzelergebnisse der Nadelnanalysen sind in den Übersichten 13 und 14 zusammengestellt.

In der Versuchsgruppe mit günstigeren Phosphorsäurevorräten werden die Änderungen der Phosphorsäuregehalte der Fichtennadeln, welche auf die Wirkung der einseitigen Kalidüngung zurückgeführt werden können, durch den Gehalt der zugänglichen Kaliverbindungen des Bodens beeinflußt.

Unter Ausscheidung des Versuches Nr. 16, bei welchem auf stark chlorhaltigem Boden das Wachstum der Fichten sehr stark unterdrückt wurde, bekommen wir nachstehende Durchschnittswerte:

Übersicht 13.

Die Phosphorsäureaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten über 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden		% P_2O_5 in der Nadelntrockensubstanz				
	P_2O_5 löslich in 1% Zitronensäure mg/kg	K_2O löslich in 1% Zitronensäure mg/kg	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	Differenz 40%iges Kalisalz	Differenz Kainit
6	894,1	172,6	0,985	0,853	0,969	— 0,032	— 0,016
16*)	434,1	68,0	0,864	0,696	0,764	— 0,168	— 0,100
3	364,7	233,2	0,795	0,793	—	— 0,002	—
1*)	278,3	462,4	0,972	0,924	0,874	— 0,048	— 0,098
5	263,9	182,8	0,963	0,869	0,858	— 0,094	— 0,105
4	249,5	217,6	0,976	0,970	0,810	— 0,006	— 0,166
7	191,3	164,9	0,678	0,690	0,658	+ 0,012	— 0,020
13	175,9	89,2	0,899	0,795	0,903	— 0,104	+ 0,004
8	166,3	136,0	0,793	0,747	0,747	— 0,046	— 0,046
2	165,9	304,3	0,827	0,656	0,727	— 0,171	— 0,100
9	146,7	129,6	0,441	0,438	0,480	— 0,003	+ 0,039
14	145,4	84,5	0,745	0,956	0,790	+ 0,211	+ 0,045
17	142,4	67,1	0,770	0,853	0,972	+ 0,083	+ 0,202
18	136,2	62,9	0,630	0,580	0,697	— 0,050	+ 0,067
10	124,7	119,6	0,778	0,614	0,669	— 0,164	— 0,109
12	108,8	93,5	0,787	0,736	0,893	— 0,051	+ 0,114

*) Nadeln 4jähriger Fichten.

Übersicht 14.

Die Phosphorsäureaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten unter 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden		% P_2O_5 in der Nadelntrockensubstanz				
	P_2O_5 löslich in 1% Zitronensäure mg/kg	K_2O löslich in 1% Zitronensäure mg/kg	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	Differenz 40%iges Kalisalz	Differenz Kainit
19	99,2	210,8	0,344	0,404	0,543	+ 0,060	+ 0,199
27	94,2	90,1	0,598	0,826	0,744	+ 0,228	+ 0,146
21	80,0	197,2	0,872	0,739	0,841	— 0,133	— 0,031
20	73,6	204,0	0,717	0,659	0,622	— 0,058	— 0,095
23	67,2	149,6	0,611	0,487	0,334	— 0,124	— 0,277
22	54,4	175,2	0,302	0,290	0,417	— 0,012	+ 0,115
25	48,3	103,7	0,655	0,570	0,554	— 0,085	— 0,105
28	42,1	84,7	0,745	0,634	0,673	— 0,111	— 0,072

Phosphorsäuregehalt im Boden über 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Phosphorsäuregehalt der Nadelntrockensubstanz % P_2O_5			Differenz gegen ungedüngt % P_2O_5	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
462,4—172,6	0,920	0,844	0,848	— 0,076	— 0,072
164,9—119,6	0,672	0,622	0,639	— 0,050	— 0,033
93,5— 62,9	0,766	0,784	0,851	+ 0,018	+ 0,085

Auf stark kaliarmen Böden bewirkte die Kalidüngung eine mäßige Steigerung der Phosphorsäureaufnahme der Nadeln; sonst wurde der Phosphorsäuregehalt leicht herabgesetzt. Weniger ausgeprägt begegnen wir dieser Wirkung bei der Versuchsgruppe auf stärker phosphorsäurearmen Böden:

Phosphorsäuregehalt im Boden unter 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchschnittlicher Phosphorsäuregehalt der Nadelntrockensubstanz % P_2O_5			Differenz gegen ungedüngt % P_2O_5	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
210,8—103,7	0,617	0,525	0,552	— 0,092	— 0,065
90,1— 84,7	0,671	0,730	0,708	+ 0,059	+ 0,037

Die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden wird durch den Gehalt an austauschbarem Kalk und Aluminium beeinflußt. Als Beleg für die Einwirkung des austauschbaren Kalkgehaltes bei stark kaliarmen Böden sollen die nachfolgenden Durchschnittswerte angeführt werden:

Kaligehalt im Boden unter 100 mg K_2O/kg.

Kaligehalt des Bodens mg CaO/kg	Durchschnittlicher Phosphorsäuregehalt der Nadelntrockensubstanz % P_2O_5			Differenz gegen ungedüngt % P_2O_5	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
495—160	0,813	0,770	0,782	— 0,043	— 0,031
151— 70	0,696	0,749	0,826	+ 0,053	+ 0,130

Auf kalkreichen Böden wurde durch die einseitige Kalidüngung trotz des starken Kalimangels die Phosphorsäureaufnahme nicht gesteigert; erst auf kalkarmen Böden wird der Phosphorsäuregehalt der Nadeln, insbesondere durch die Kainitdüngung, wesentlich gehoben.

Der Enfluß der Düngung auf die Kalkaufnahme der Fichtennadeln.

Mit Abnahme des Gehaltes an austauschbarem Kalk im Boden wird die Kalkaufnahme der Nadeln ungedüngter Fichten allmählich herabgesetzt. Unter dem Einflusse der einseitigen Kalidüngung wird die Kalkaufnahme der Nadeln im Durchschnitt der einzelnen Versuchsgruppen auf Böden mit gestaffelten Kalkgehalten auf kalkversorgten Böden deutlich herabgesetzt, auf kalkarmen eher gesteigert.

Besonders durch die einseitige Kainitdüngung wurde in den meisten Versuchen die Kalkaufnahme wesentlich herabgesetzt.

Die Änderungen in der Kalkaufnahme bei den einzelnen Versuchen auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten und phosphorsäurearmen Böden sind in den Übersichten 15 und 16 zusammengestellt:

Kalkgehalt des Bodens CaO löslich in 10 % NH_4Cl mg/100 g	% CaO in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % CaO	
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	40 %iges Kalisalz	Kainit
738—495	2,057	1,923	1,753	— 0,134	— 0,304
487—238	1,483	1,449	1,446	— 0,034	— 0,037
213—160	1,236	1,190	1,155	— 0,046	— 0,081
158—120	1,155	1,417	1,376	+ 0,262	+ 0,221
113— 70	1,045	1,010	1,063	— 0,035	+ 0,018

Übersicht 15.

Die Kalkaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten über 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden		% CaO in der Nadelntrockensubstanz				
	CaO löslich in 10 % NH_4Cl mg/100 g	K_2O löslich in 1 % Zitronensäure mg/kg	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	Differenz	
						40 %iges Kalisalz	Kainit
6	738	172,6	1,480	1,507	1,289	+ 0,027	— 0,191
4	665	217,6	2,466	2,395	2,489	— 0,071	— 0,023
3	595	233,2	2,849	2,734	-	— 0,115	—
5	539	182,8	1,469	1,263	1,720	— 0,206	+ 0,251
16*)	495	68,0	2,022	1,734	1,514	— 0,288	— 0,508
8	487	136,0	1,394	1,268	1,471	— 0,126	+ 0,077
7	420	164,9	1,770	1,645	1,639	— 0,125	— 0,131
10	290	119,6	1,469	1,427	1,250	— 0,042	— 0,219
13	238	89,2	1,432	1,624	1,742	+ 0,192	+ 0,310
9	213	129,6	0,985	0,961	1,321	+ 0,024	+ 0,336
1*)	188	462,4	1,577	1,376	1,450	— 0,201	— 0,127
2	175	304,3	1,093	0,723	0,621	— 0,370	— 0,472
14	168	84,5	1,169	1,004	1,200	— 0,165	+ 0,031
18	151	62,9	1,105	1,549	1,023	+ 0,444	— 0,082
17	120	67,1	1,104	1,560	1,279	+ 0,456	+ 0,175
12	70	93,5	1,178	1,242	1,159	+ 0,064	+ 0,019

*) Nadeln 4jähriger Fichten.

Übersicht 16.

Die Kalkaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten unter 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden		% CaO in der Nadelntrockensubstanz				
	CaO löslich in 10 % NH_4Cl mg/100 g	K_2O löslich in 1 % Zitronensäure mg/kg	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	Differenz	
						40 %iges Kalisalz	Kainit
25	272	103,7	1,349	1,282	1,128	— 0,067	— 0,221
21	210	197,2	1,195	1,413	1,293	+ 0,218	+ 0,098
22	185	175,2	1,302	1,233	1,166	— 0,069	— 0,136
28	160	84,7	1,329	1,621	1,031	+ 0,292	— 0,298
20	158	204,0	1,216	1,366	1,279	+ 0,150	+ 0,063
27	149	90,1	1,196	1,193	1,924	— 0,003	+ 0,728
19	113	210,8	0,825	0,539	0,914	— 0,286	+ 0,089
23	95	149,6	1,132	1,250	1,117	+ 0,118	— 0,015

Die Kalkaufnahme der Nadeln hängt jedoch nicht nur von den Phosphorsäure- und Kalkgehalten des Bodens allein ab. Bei der Gruppe der Versuche auf besser mit Phosphorsäure versorgten Böden, welche meistens auch die gut mit Kalk versorgten Böden umfaßt, können wir den Einfluß des Kaligehaltes des Bodens auf den Kalkgehalt der Nadeln wahrnehmen.

Versuchsgruppe auf Böden mit P_2O_5-Gehalten über 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens löslich in 1 % Zitronensäure mg K_2O/kg	% CaO in der Nadeltrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % CaO	
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	40 %iges Kalisalz	Kainit
462,4—172,6	1,822	1,666	1,514	— 0,156	— 0,308
164,9—119,6	1,405	1,325	1,420	— 0,080	+ 0,015
93,5— 62,9*)	1,198	1,396	1,281	+ 0,198	+ 0,083

*) Mit Ausnahme des Versuches Nr. 16 auf sehr chlorreichem Boden.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß bei der Versuchsgruppe mit günstigeren Phosphorsäurezuständen des Bodens durch die einseitige Kalidüngung die Kalkaufnahme auf kaliversorgten Böden verringert wurde, auf mittelmäßig kaliversorgten Böden vermerken wir durchschnittlich nur unbedeutende Änderungen, während wir auf kaliarmen Böden einer deutlichen Steigerung der Kalkaufnahme der Nadeln, besonders durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz, begegnen.

Ein ähnliches Verhalten der Kalkaufnahme der Nadeln können wir auch bei der Gruppe der Versuche auf phosphorsäurearmen Böden verzeichnen, wo jedoch auf kaliarmen Böden die Wirkung der einseitigen Kainitdüngung in der Steigerung der Kalkaufnahme stärker ist als bei der Düngung mit 40%igem Kalisalz.

Versuchsgruppe auf Böden mit P_2O_5-Gehalten unter 100 mg P_2O_5/kg.

Kaligehalt des Bodens löslich in 1 % Zitronensäure mg K_2O/kg	% CaO in der Nadeltrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % CaO	
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	40 %iges Kalisalz	Kainit
210,8—103,7	1,170	1,179	1,150	+ 0,009	— 0,020
90,1— 84,7	1,262	1,407	1,478	+ 0,145	+ 0,216

Masseva (12) zeigte, daß die Chloridanreicherung im Boden zur Anreicherung von Chlor und Kalk und zum Engerwerden des Kali: Kalziumverhältnisses in der Pflanze führt. In unserer Versuchsreihe gestalten sich die durchschnittlichen Verhältniszahlen K_2O:CaO bei den einzelnen Gruppen der Versuche folgenderweise:

Das Engerwerden des K_2O:CaO-Verhältnisses können wir in unserer Versuchsreihe namentlich bei der Gruppe der Versuche auf phosphorsäure- und kaliarmen Böden infolge der Kalkanreicherung in den Nadeln der Fichten verzeichnen.

Phosphorsäuregehalt des Bodens mg P_2O_5/kg	Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	$K_2O : CaO$ in den Nadeln			Differenz gegen ungedüngt	
		ungedüngt	40 % iges Kalisalz	Kainit	40 % iges Kalisalz	Kainit
über 100	462,4—172,6	0,61	0,60	0,58	— 0,01	— 0,03
	164,9—119,6	0,56	0,58	0,56	+ 0,02	0,00
	93,5— 62,9	0,69	0,68	0,73	— 0,01	+ 0,04
unter 100	210,8—103,7	0,77	0,68	0,70	— 0,09	— 0,07
	90,1— 84,7	0,63	0,57	0,51	— 0,05	— 0,12

Der Einfluß der Düngung auf die Magnesiaaufnahme der Fichtennadeln.

Die Schwankungen der Magnesiagehalte in der Nadelntrockensubstanz sind beträchtlich (0,116—0,528 % MgO) und richten sich allgemein nach den Gehalten der austauschbaren Magnesiaverbindungen des Bodens. Im Durchschnitt der Versuchsgruppen auf Böden mit gestaffelten Magnesiagehalten wurde gefunden:

Magnesiagehalt des Bodens mg MgO in 100 g	% MgO in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % MgO	
	ungedüngt	40 % iges Kalisalz	Kainit	40 % iges Kalisalz	Kainit
203,5—107,9	0,405	0,368	0,393	— 0,037	— 0,012
99,6— 91,6	0,265	0,265	0,273	— 0,000	+ 0,008
87,3— 80,0	0,256	0,261	0,262	+ 0,005	+ 0,006
72,8— 60,5	0,251	0,267	0,269	+ 0,016	+ 0,018
57,9— 39,1	0,228	0,222	0,235	— 0,006	+ 0,007

Wenn auch die durch die einseitige Kalidüngung hervorgerufenen mittleren Differenzen der Magnesiagehalte allgemein sehr gering sind, kann man bei den magnesiaarmen Böden eher eine leichte Steigerung wahrnehmen.

Die Einzelergebnisse der Analysen sind in den Übersichten 17 und 18 zusammengestellt.

In der Versuchsgruppe auf günstiger mit Phosphorsäure versorgten Böden vermerkt man deutlich den Einfluß eines gleichzeitigen Kali- und Magnesiamangels des Bodens auf die durch Kalidüngung bewirkten Änderungen der Magnesiaaufnahme der Nadeln. Die größten Steigerungen der Magnesiagehalte der Fichtennadeln treten auf den stark kali- und magnesiaarmen Böden auf:

Ähnlich vermerken wir auch bei phosphorsäurearmen Böden die wesentlichste Steigerung der Magnesiaaufnahme bei den stark kali- und magnesiaarmen Böden (Versuch Nr. 28), sonst ist meistens eher eine Herabsetzung festzustellen.

Übersicht 17.

Die Magnesiaaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten über 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden			% MgO in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % MgO	
	MgO löslich in 10% NH_4Cl	K_2O lösl. in 1% Zitronensäure mg/kg	pH Austauschazidität	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
6	203,5	172,6	6,05	0,516	0,492	0,528	— 0,024	+ 0,012
7	107,9	164,9	5,26	0,299	0,274	0,318	— 0,025	+ 0,019
9	99,6	129,6	4,37	0,273	0,317	0,289	+ 0,044	+ 0,016
10	98,6	119,6	4,26	0,296	0,299	0,304	+ 0,003	+ 0,008
2	98,1	304,3	4,54	0,277	0,283	0,293	+ 0,006	+ 0,016
14	87,3	84,5	4,70	0,240	0,249	0,246	+ 0,009	+ 0,006
12	85,5	93,5	3,55	0,305	0,361	0,348	+ 0,056	+ 0,043
8	80,0	136,0	5,19	0,252	0,217	0,229	— 0,035	— 0,023
13	72,8	89,2	4,33	0,304	0,347	0,341	+ 0,043	+ 0,037
17	72,1	67,1	4,44	0,217	0,240	0,257	+ 0,023	+ 0,040
5	67,4	182,8	6,02	0,249	0,227	0,217	— 0,022	— 0,032
4	57,9	217,6	6,92	0,155	0,105	0,102	— 0,050	— 0,053
18	57,9	62,9	4,12	0,356	0,279	0,346	— 0,077	— 0,010
3	53,6	233,2	6,93	0,116	0,179	—	+ 0,063	—
1*)	46,6	462,4	5,24	0,245	0,214	0,228	— 0,031	— 0,017
16*)	39,1	68,0	6,93	0,208	0,239	0,227	+ 0,031	+ 0,019

*) 4jährige Fichten.

Übersicht 18.

Die Magnesiaufnahme der Fichtennadeln.
Böden mit Phosphorsäuregehalten unter 100 mg P_2O_5 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden			% MgO in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % MgO	
	MgO löslich in 10% NH_4Cl	K_2O lösl. in 1% Zitronensäure	pH Austauschazidität	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
27	134,0	90,1	4,12	0,399	0,338	0,334	— 0,061	— 0,065
25	97,4	103,7	5,21	0,286	0,249	0,271	— 0,037	— 0,015
20	96,3	204,0	4,46	0,215	0,229	0,243	+ 0,014	+ 0,028
19	91,6	210,8	3,88	0,244	0,212	0,237	— 0,032	— 0,007
23	81,1	149,6	3,86	0,227	0,221	0,226	— 0,006	— 0,001
28	60,5	84,7	3,98	0,235	0,253	0,261	— 0,018	+ 0,026
21	48,1	197,2	4,49	0,242	0,269	0,216	+ 0,027	— 0,026
22	41,3	175,2	3,90	0,276	0,269	0,292	— 0,007	+ 0,016

Versuchsgruppe auf Böden mit P_2O_5-Gehalten über 100 mg/kg.

Boden		Durchschnittlich % MgO in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % MgO	
K_2O mg/kg	MgO mg/kg	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
462,4—182,8	67,4—46,6	0,191	0,181	0,182	— 0,010	— 0,009
304,3—164,9	203,3—98,1	0,364	0,348	0,379	— 0,016	+ 0,015
136,0—119,6	99,6—80,0	0,274	0,278	0,261	+ 0,004	— 0,013
93,5— 62,9	87,3—39,1	0,272	0,286	0,294	+ 0,014	+ 0,022

Der Einfluß der Düngung auf die Manganaufnahme der Fichtennadeln.

Wie bereits in den früheren Mitteilungen über den Einfluß der Kalkung und der Phosphorsäuredüngung auf die Manganaufnahme der Nadeln bewiesen wurde, hängt die Manganaufnahme von der Bodenreaktion und vom Mangangehalt des Bodens ab (Němec 5).

Die Nadeln der Fichte auf stark austauschsauren Böden enthalten allgemein bedeutend mehr Mangan als auf neutralen oder sehr schwach sauren Böden. Durch die Düngung wird jedoch die Manganaufnahme wesentlich beeinflußt.

In der Übersicht 19 sind die Mangangehalte der Nadeln bei der Versuchsgruppe auf schwach austauschsauren bis neutralen Böden zusammengestellt, während die Übersicht 20 die Ergebnisse der Mangananalysen von Fichtennadeln auf stark austauschsauren Böden, geordnet nach den Gehalten an leichtlöslichen Manganverbindungen (in 1 %iger Zitronensäurelösung) des Bodens bringt.

Durch die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und mit Kainit wurde die Manganaufnahme der Fichtennadeln auf schwach austauschsauren bis fast neutralen Böden merkbar erhöht. In den Nadeln der ungedüngten Fichten finden wir in dieser Versuchsgruppe meistens nur sehr geringe Mangangehalte.

Übersicht 19.

Die Manganaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 6,93—5,19.

Versuch Nr.	Boden: Mangangehalt MnO löslich in 1 % Zitronensäure mg/kg	Boden: Mangangehalt MnO löslich in 10 % HCl %	Boden: Austauschazidität pH	% MnO in der Nadelntrockensubstanz: ungedüngt	% MnO in der Nadelntrockensubstanz: 40 %ig. Kalisalz	% MnO in der Nadelntrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % MnO: 40 %ig. Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % MnO: Kainit
4	392,7	0,088	6,92	0,014	0,028	0,036	+ 0,014	+ 0,022
6	297,6	0,036	6,05	0,028	0,022	0,044	— 0,006	+ 0,016
25	209,2	0,073	5,21	0,024	0,061	0,074	+ 0,037	+ 0,050
5	204,6	0,081	6,02	0,009	0,042	0,045	+ 0,033	+ 0,036
3	199,9	0,045	6,93	0,004	0,009	—	+ 0,005	+ —
1*)	199,9	0,024	5,24	0,009	0,057	0,026	+ 0,048	+ 0,017
8	102,3	0,062	5,19	0,025	0,082	0,096	+ 0,057	+ 0,071
16*)	90,7	0,019	6,93	0,006	0,031	0,119	+ 0,025	+ 0,113
7	58,1	0,015	5,26	0,036	0,049	0,081	+ 0,013	+ 0,045
Durchschnitt				**0,017**	**0,042**	**0,058**	+ **0,025**	+ **0,041**

*) 4jährige Fichten.

Sehr wesentliche Steigerungen der Manganaufnahme bewirkte die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und mit Kainit auf stärker bis stark austauschsauren Böden. In dieser Versuchsgruppe stieg der Mangangehalt durch die Kalidüngung auf den stärkstens austauschsauren Böden (pH = 3,98—3,55) bis auf 0,847 % MnO in der Trockensubstanz der Nadeln. Dabei kann

Übersicht 20.

Die Manganaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 4,70—3,55.

Versuch Nr.	Boden: Mangangehalt MnO: löslich in 1% Zitronensäure mg/kg	Boden: Mangangehalt MnO: löslich in 10% HCl %	Boden: Austauschazidität pH	% MnO in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	% MnO in der Nadeltrockensubstanz: 40%ig. Kalisalz	% MnO in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % MnO: 40%ig. Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % MnO: Kainit
20	934,6	0,163	4,46	0,112	0,167	0,261	+ 0,055	+ 0,149
27	797,5	0,193	4,12	0,325	0,347	0,369	+ 0,022	+ 0,044
12	326,6	0,074	3,55	0,467	0,793	0,502	+ 0,326	+ 0,035
13	304,5	0,044	4,33	0,099	0,105	0,259	+ 0,006	+ 0,160
14	297,6	0,066	4,70	0,102	0,156	0,251	+ 0,054	+ 0,149
23	292,9	0,048	3,86	0,173	0,192	0,304	+ 0,019	+ 0,131
28	253,4	0,083	3,98	0,222	0,847	0,632	+ 0,625	+ 0,410
2	190,4	0,023	4,54	0,110	0,148	0,162	+ 0,038	+ 0,052
21	172,1	0,020	4,49	0,044	0,052	0,076	+ 0,008	+ 0,032
19	162,7	0,046	3,88	0,137	0,134	0,271	— 0,003	+ 0,134
9	139,5	0,035	4,37	0,065	0,086	0,249	+ 0,021	+ 0,184
18	48,8	0,033	4,12	0,074	0,364	0,442	+ 0,290	+ 0,368
22	44,2	0,034	3.90	0,131	0,328	0,161	+ 0,197	+ 0,030
			Durchschnitt	**0,159**	**0,286**	**0,303**	**+ 0,127**	**+ 0,144**

man im Rahmen der zwei Versuchsgruppen auch den Einfluß der Kalibedürftigkeit des Bodens auf die durch einseitige Kalidüngung bewirkten Änderungen der Manganaufnahme verfolgen:

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Durchnittliche % MnO in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	Durchnittliche % MnO in der Nadeltrockensubstanz: 40% iges Kalisalz	Durchnittliche % MnO in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % MnO: 40% iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % MnO: Kainit
Versuchsgruppe auf Böden mit pH = 6,93 — 5,19.					
462,4 — 172,6	0,013	0,033	0,038	+ 0,020	+ 0,025
164,9 — 68,0	0,023	0,056	0,093	+ 0,033	+ 0,070
Versuchsgruppe auf Böden mit pH = 4,70 — 3,55.					
304,3—175,2	0,115	0,166	0,186	+ 0,051	+ 0,071
149,6— 62,9	0,191	0,361	0,375	+ 0,170	+ 0,184

Auf kaliarmen Böden bewirkte die einseitige Kalidüngung eine wesentlichere Steigerung der Manganaufnahme der Nadeln als auf kaliversorgten Böden. Durch die Kainitwirkung wurde die Manganaufnahme durchschnittlich mehr gefördert als durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz.

Die Bedeutung der Bodenazidität und des Mangangehaltes der Böden für die Manganaufnahme der Nadeln und deren Änderungen durch die Kalisalz- und Kainitdüngung beleuchten uns die Angaben der nachstehenden Übersicht:

Austausch-azidität des Bodens pH	Mangangehalt des Bodens, löslich in 1 %iger Zitronensäure					
	unter 200 mg MnO/kg			über 200 mg MnO/kg		
	un-gedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	un-gedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit
6,93—5,19	0,016	0,046	0,081	0,019	0,038	0,050
4,70—4,12	0,073	0,162	0,232	0,159	0,194	0,285
3,98—3,55	0,134	0,231	0,216	0,287	0,611	0,479

Bei manganreichen Böden waren die Mangangehalte der Nadeln sowie die Steigerungen der Manganaufnahme durch die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit bedeutend höher als bei manganarmen Böden derselben Reaktionsgruppe. Mit Herabsteigen der Bodenazidität wird allgemein der Mangangehalt und die Förderung der Manganaufnahme in Nadeln gehoben. Die fördernde Wirkung der Kalisalze auf die Manganaufnahme der Nadeln ist höchstwahrscheinlich auf die physiologisch saure Beschaffenheit der Kalidüngemittel zurückzuführen.

Der Einfluß der Düngung auf die Eisenaufnahme der Fichtennadeln.

Die Eisenaufnahme der Fichtennadeln zeigte allgemein ein allmähliches Ansteigen mit der Steigerung der Austauschazidität des Bodens; von dem Eisengehalt des Bodens scheint sie weniger abhängig zu sein. Im Gesamtdurchschnitt der einzelnen Versuchsgruppen, die auf Grund der Austauschazidität des Bodens aufgestellt wurden, ergeben sich nachfolgende Eisengehalte der Nadeltrockensubstanz:

Austauschazidität des Bodens pH	% Fe_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz		
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit
6,93—6,02	0,052	0,055	0,052
5,26—5,19	0,058	0,059	0,069
4,70—4,12	0,069	0,080	0,078
3,98—3,55	0,090	0,123	0,100

Die Eisenaufnahme steigt allgemein mit zunehmender Austauschazidität des Bodens. Durch die einseitige Kalisalz- und Kainitdüngung wird die Eisenaufnahme der Fichtennadeln gefördert. In dieser Richtung scheint die Düngung mit 40%igem Kalisalz wirksamer zu sein als die Kainitdüngung.

Die Einzelergebnisse der Versuchsreihen sind in den Übersichten 21 und 22 zusammengefaßt:

Aus den Einzelergebnissen ist ersichtlich, daß die Eisengehalte der Nadeln durch die Düngung bei den meisten Versuchen nur ein wenig geändert wurden. Nur bei einigen Versuchen (Nr. 28, 20, 23) kann eine bedeutende Steigerung des Eisengehaltes der Nadeln durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz vermerkt werden. Jedenfalls spielt die Azidität des Bodens eine

Übersicht 21.

Die Eisenaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 6,93—5,19.

Versuch Nr.	Boden			$^0/_0$ Fe_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt $^0/_0$ Fe_2O_3	
	Eisengehalt Fe_2O_3		Austauschazidität pH					
	löslich in 1 $^0/_0$ Zitronensäure $^0/_0$	löslich in 10 $^0/_0$ HCl $^0/_0$		ungedüngt	40 $^0/_0$iges Kalisalz	Kainit	40 $^0/_0$iges Kalisalz	Kainit
6	0,231	1,754	6,05	0,048	0,048	0,049	—	+ 0,001
3	0,150	1,112	6,93	0,054	0,060	—	+ 0,006	—
5	0,120	1,716	6,02	0,057	0,049	0,049	— 0,008	— 0,008
8	0,120	1,267	5,19	0,039	0,048	0,046	+ 0,009	+ 0,007
16*)	0,105	0,584	6,93	0,048	0,062	0,058	+ 0,014	+ 0,010
25	0,080	1,016	5,21	0,062	0,073	0,058	+ 0,011	— 0,004
7	0,080	0,968	5,26	0,062	0,083	0,077	+ 0,021	+ 0,015
1*)	0,051	1,309	5,24	0,071	0,084	0,094	+ 0,013	+ 0,023
			Durchschnitt	**0,055**	**0,063**	**0,062**	+ **0,008**	+ **0,007**

*) Nadeln 4jähriger Fichten.

Übersicht 22.

Die Eisenaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 4,70—3,55.

Versuch Nr.	Boden			$^0/_0$ Fe_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt $^0/_0$ Fe_2O_3	
	Eisengehalt Fe_2O_3		Austauschazidität pH					
	löslich in 1 $^0/_0$ Zitronensäure $^0/_0$	löslich in 10 $^0/_0$ HCl $^0/_0$		ungedüngt	40 $^0/_0$iges Kalisalz	Kainit	40 $^0/_0$iges Kalisalz	Kainit
14	0,141	1,495	4,70	0,100	0,074	0,076	— 0,026	— 0,024
13	0,110	1,064	4,33	0,050	0,067	0,118	+ 0,017	+ 0,068
12	0,110	1,179	3,55	0,078	0,084	0,083	+ 0,006	+ 0,005
28	0,105	1,150	3,98	0,144	0,259	0,169	+ 0,115	+ 0,025
27	0,100	1,054	4,12	0,063	0,078	0,069	+ 0,015	+ 0,006
19	0,089	1,428	3,88	0,037	0,041	0,038	+ 0,004	+ 0,001
2	0,080	0,949	4,54	0,063	0,082	0,075	+ 0,019	+ 0,012
23	0,073	0,776	3,86	0,153	0,185	0,172	+ 0,032	+ 0,019
9	0,070	0,834	4,37	0,067	0,051	0,052	— 0,016	— 0,015
20	0,061	0,882	4,46	0.062	0,099	0,087	+ 0,037	+ 0,025
18	0,060	0,738	4,12	0,044	0,052	0,034	+ 0,008	+ 0,010
21	0,053	0,747	4,49	0,105	0,137	0,112	+ 0,032	+ 0,007
22	0,035	0,767	3,90	0,034	0,045	0,039	+ 0,011	+ 0,005
			Durchschnitt	**0,077**	**0,096**	**0,086**	+ **0,019**	+ **0,009**

wichtige Aufgabe bei der Steigerung der Eisenaufnahme durch die einseitige Kalidüngung, obzwar sie nicht allein entscheidend ist. Der Eisengehalt des Bodens scheint für die Stärke der Eisenaufnahme der Nadeln nur wenig Bedeutung zu besitzen.

Der Einfluß der Düngung auf die Aluminiumaufnahme der Fichtennadeln.

Wie bereits gezeigt wurde [Němec (5)], hängt die Aluminiumaufnahme der Fichtennadeln hauptsächlich von der Bodenreaktion

und von dem Gehalte des Bodens an leichtlösliche Aluminiumverbindungen ab. Die erheblichsten Aluminiumgehalte wurden in Nadeln der Fichtenpflanzen gefunden, welche auf stark austauschsauren und aluminiumreichen Böden gewachsen sind. Trotzdem finden wir auch von dieser Regel eine Ausnahme bei dem Versuch Nr. 7.

Die Aluminiumgehalte der Nadeln ungedüngter und mit Kalisalzen einseitig gedüngter Fichten sind in den Übersichten 22 und 23 zusammengestellt. Die Aluminiumgehalte in Versuchsgruppen, geordnet nach abnehmenden Gehalten des Bodens an Aluminiumoxyd, löslich in 1%iger Zitronensäure, haben bei den mit 40%igem Kalisalz und Kainit gedüngten Fichten folgende Durchschnittswerte ergeben:

Aluminiumoxydgehalt des Bodens Al_2O_3	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % Al_2O_3	
	ungedungt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
0,260—0,161	0,143	0,262	0,191	+ 0,119	+ 0,048
0,151—0,122	0,159	0,215	0,204	+ 0,056	+ 0,045
0,117—0,104	0,123	0,136	0,137	+ 0,013	+ 0,014
0,098—0,070	0,065	0,139	0,102	+ 0,074	+ 0,037

Übersicht 23.

Die Aluminiumaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 5,19—6,93.

Versuch Nr.	Boden: Aluminiumgehalt % Al_2O_3 löslich in 1% Zitronensäure	Boden: Aluminiumgehalt % Al_2O_3 löslich in 10% HCl	Boden: Austauschazidität pH	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: 40%ig. Kalisalz	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % Al_2O_3: 40%iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % Al_2O_3: Kainit
6	0,260	2,939	6,05	0,125	0,307	0,102	+ 0,182	— 0,023
5	0,182	3,985	6,02	0,065	0,180	0,221	+ 0,115	+ 0,156
1*)	0,170	1,732	5,24	0,067	0,084	0,172	+ 0,017	+ 0,105
3	0,140	1,511	6,93	0,109	0,120	—	+ 0,011	—
8	0,122	2,292	5,19	0,048	0,061	0,071	+ 0,013	+ 0,023
16*)	0,117	0,805	6,93	0,029	0,042	0,038	+ 0,013	+ 0,009
7	0,104	2,505	5,26	0,302	0,282	0,312	— 0,020	+ 0,010
25	0,084	1,787	5,21	0,052	0,084	0,150	+ 0,031	+ 0,097
		Durchschnitt		**0,100**	**0,145**	**0,133**	**+ 0,045**	**+ 0,033**

*) Nadeln 4jähriger Fichten.

Allgemein wird beobachtet, daß die Aluminiumaufnahme bei ungedüngten sowie gedüngten Fichten mit der Abnahme des Aluminiumgehaltes im Boden ebenfalls abnimmt. Durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit wurde die Aufnahme des Aluminiums durch die Fichtennadeln merkbar gefördert und zwar am meisten bei der Versuchsgruppe auf aluminiumreichsten Böden.

Übersicht 24.

Die Aluminiumaufnahme der Fichtennadeln.
Austauschazidität des Bodens pH = 3,55—4,70.

Versuch Nr.	Boden: Aluminiumgehalt % Al_2O_3: löslich in 1% Zitronensäure	Boden: Aluminiumgehalt % Al_2O_3: löslich in 10% HCl	Boden: Austauschazidität pH	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: 40%ig. Kalisalz	% Al_2O_3 in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % Al_2O_3: 40%iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % Al_2O_3: Kainit
14	0,188	2,024	4,70	0,137	0,161	0,176	+ 0,024	+ 0,039
28	0,178	2,830	3,98	0,281	0,596	0,275	+ 0,315	— 0,006
9	0,161	1,832	4,37	0,184	0,246	0,197	+ 0,062	+ 0,013
12	0,151	2,005	3,55	0,415	0,408	0,419	— 0,007	+ 0,004
13	0,130	1,992	4,33	0,066	0,207	0,071	+ 0,141	+ 0,005
27	0,128	2,193	4,12	0,098	0,123	0,113	+ 0,025	+ 0,015
18	0,127	0,853	4,12	0,218	0,364	0,348	+ 0,146	+ 0,130
2	0,112	2,516	4,54	0,063	0,121	0,116	+ 0,058	+ 0,053
20	0,109	1,868	4,46	0,045	0,056	0,051	+ 0,011	+ 0,006
23	0,105	1,934	3,86	0,177	0,178	0,166	+ 0,001	— 0,011
19	0,098	3,772	3,88	0,096	0,307	0,102	+ 0,211	+ 0,006
21	0,093	2,004	4,49	0,054	0,105	0,098	+ 0,051	+ 0,044
22	0,070	1,652	3,90	0,057	0,060	0,059	+ 0,003	+ 0,002
		Durchschnitt		**0,145**	**0,226**	**0,169**	+ **0,081**	+ **0,024**

Versuchsgruppe auf neutralen bis schwach austauschsauren Böden.
pH = 6,93—5,19.

% Al_2O_3 im Boden (Auszug mit 1% Zitronensäure)	In der Nadeltrockensubstanz %: Al_2O_3: ungedüngt	Al_2O_3: 40%iges Kalisalz	Al_2O_3: Kainit	K_2O: ungedüngt	K_2O: 40%iges Kalisalz	K_2O: Kainit	Differenz gegen ungedüngt: Al_2O_3: 40%iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt: Al_2O_3: Kainit	Differenz gegen ungedüngt: K_2O: 40%iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt: K_2O: Kainit
0,260—0,170	0,086	0,190	0,165	0,060	1,005	0,879	+0,104	+0,079	—0,055	—0,181
0,140—0,122	0,078	0,091	0,071	0,968	0,922	0,670	+0,013	—0,007	—0,046	—0,007
0,117—0,084*)	0,041	0,063	0,094	0,920	1,136	0,876	+0,022	+0,053	+0,216	—0,044

*) Unter Ausscheidung des Versuches Nr. 7.

Durch die einseitige Kalisalz- und Kainitdüngung wurde die Aluminiumaufnahme bei der Versuchsgruppe auf schwach austauschsauren Böden, aus welchen nur relativ geringe Aluminiummengen resorbiert wurden, am wesentlichsten bei den aluminiumreichsten Böden gefördert; gleichzeitig hat die Kaliaufnahme abgenommen.

Auf stark austauschsauren und aluminiumreichen Böden wurden die höchsten Aluminiumgehalte der Nadeltrockensubstanz gefunden. Durch die Kalidüngung wurde auch hier die Aluminiumaufnahme deutlich gehoben, insbesondere durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz. Die Kainitdüngung hat allgemein die Aluminiumaufnahme schwächer gefördert. Zu der Kaliaufnahme finden wir hier keine besonderen Beziehungen.

Versuchgruppe auf stark austauchsauren Böden.
pH = 4,70—3,55.

% Al_2O_3 im Boden (Auszug mit 1% Zitronensäure)	In der Nadelntrockensubstanz %									
	Al_2O_3			K_2O			Differenz gegen ungedüngt			
							Al_2O_3		K_2O	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
0,188—0,151	0,254	0,353	0,267	0,847	0,853	0,836	+0,099	+0,013	+0,006	−0,011
0,130—0,127	0,127	0,231	0,177	0,757	0,954	0,842	+0,104	+0,050	+0,197	+0,085
0,112 −0,105	0,095	0,118	0,111	0,927	0,813	0,760	+0,023	+0,016	−0,114	−0,167
0,098—0,070	0,069	0,157	0,086	0,911	0,796	0,864	+0,088	+0,017	−0,115	−0,047

Der Einfluß der Düngung auf die Kieselsäureaufnahme der Fichtennadeln.

Die Kieselsäuregehalte der Fichtennadeln zeigten ziemlich große Schwankungen je nach dem Kieselsäuregehalt, der Austauschazidität sowie je nach dem Nährstoffgehalt des Bodens. Durch die Einwirkung der einseitigen Kalidüngung können bei einzelnen Versuchen, insbesondere auf kaliarmen Böden, sehr beträchtliche Steigerungen der Kieselsäureaufnahme der Nadeln verzeichnet werden.

Im Gesamtdurchschnitt der Versuchsgruppen, welche auf Grund des Kaligehaltes im Boden aufgestellt wurden, bemerken wir folgende Änderungen:

Kaligehalt des Bodens löslich in 1% Zitronensäure mg K_2O/kg	% SiO_2 in der Nadelntrockensubstanz			Differenz gegen ungedüngt % SiO_2	
	ungedüngt	40%iges Kalisalz	Kainit	40%iges Kalisalz	Kainit
über 200	0,738	0,689	0,663	— 0,049	— 0,075
160—200	0,555	0,538	0,553	— 0,017	— 0,002
100—160	0,726	0,869	0,823	+ 0,143	+ 0,097
70—100	0,878	1,101	0,972	+ 0,223	+ 0,094
unter 70	0,614	0,995	0,773	+ 0,381	+ 0,159

Die Einzelergebnisse der Versuche sind in den Übersichten 25 und 26 angeführt.

Es konnte festgestellt werden, daß auf kaliversorgten Böden durch die einseitige Kalidüngung die Kieselsäureaufnahme herabgesetzt wurde. Mit Abnahme des zitronensäurelöslichen Kaligehaltes im Boden wird durch die Düngung die Kieselsäureaufnahme allgemein gesteigert.

Den Einfluß der Kieselsäureversorgung des Bodens auf die Änderungen der Kieselsäureaufnahme durch die Kalidüngung zeigt die nachstehende Zusammenstellung:

Auf kieselsäurereichen Böden wird durch die Nadeln allgemein mehr Kieselsäure aufgenommen und bei Kalimangel des Bodens bewirkt die Düngung ein wesentliches Ansteigen des Kieselsäuregehaltes der Fichtennadeln.

Übersicht 25.

Kieselsäuregehalt der Fichtennadeln.
Böden mit Kieselsäuregehalten über 250 mg SiO_2 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden: Kieselsäuregehalt SiO_2 lösl. in 1 % Zitronensäure mg/kg	Boden: Kieselsäuregehalt SiO_2 löslich in 10 % HCl %	Boden: Kaligehalt K_2O löslich in 1 % Zitronensäure mg/kg	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: 40 %iges Kalisalz	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % SiO_2: 40 %iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % SiO_2: Kainit
3	917,5	0,719	233,2	0,954	0,883	—	— 0,071	—
19	312,5	0,334	210,8	0,845	0,758	0,965	— 0,087	+ 0,120
5	337,0	0,626	182,8	0,494	0,463	0,478	— 0,031	— 0,016
6	600,0	0,349	172,6	0,463	0,529	0,433	+ 0,066	— 0,030
7	418,5	0,299	164,9	0,810	0,690	0,833	— 0,120	+ 0,023
23	272,5	0,499	149,6	0,952	0,855	0,787	— 0,097	— 0,165
8	245,0	0,284	136,0	0,544	0,601	0,532	+ 0,057	— 0,012
25	282,5	0,286	103,7	0,787	1,120	1,273	+ 0,333	+ 0,486
28	255,0	0,362	84,7	1,824	2,264	2,164	+ 0,440	+ 0,340
16*)	427,0	0,285	68,0	0,550	1,354	0,919	+ 0,804	+ 0,369
			Durchschnitt	**0,822**	**0,952**	**0,932**	**+ 0,130**	**+ 0,110**

*) Nadeln 4 jähriger Fichten.

Übersicht 26.

Kieselsäuregehalte der Fichtennadeln.
Böden mit Kieselsäuregehalten unter 250 mg SiO_2 in 1 kg.

Versuch Nr.	Boden: Kieselsäuregehalt SiO_2 lösl. in 1 % Zitronensäure mg/kg	Boden: Kieselsäuregehalt SiO_2 löslich in 10 % HCl %	Boden: Kaligehalt K_2O löslich in 1 % Zitronensäure mg/kg	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: ungedüngt	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: 40 %iges Kalisalz	% SiO_2 in der Nadeltrockensubstanz: Kainit	Differenz gegen ungedüngt % SiO_2: 40 %iges Kalisalz	Differenz gegen ungedüngt % SiO_2: Kainit
1*)	160,0	0,245	462,4	0,724	0,552	0,461	— 0,172	— 0,263
2	192,5	0,384	304,3	0,510	0,482	0,496	+ 0,028	— 0,014
20	195,0	0,252	204,0	0,657	0,771	0,730	+ 0,114	+ 0,073
21	210,8	0,351	197,2	0,546	0,580	0,571	+ 0,034	+ 0,025
22	117,5	0,303	175,2	0,464	0,430	0,448	— 0,034	— 0,016
8	245,0	9,284	136,0	0 544	0,601	0,532	+ 0,057	— 0,012
9	152,5	0,287	129,6	0,623	0,902	0,701	+ 0,279	+ 0,078
12	142,5	0,311	93,5	0,842	1,076	0,710	+ 0,234	— 0,132
27	162,5	0,240	90,1	0,613	0,911	0,734	+ 0,298	+ 0,121
13	135,0	0,263	89,2	0,679	0,767	0,720	+ 0,088	+ 0,041
14	137,5	0,399	84,5	0,433	0,485	0,531	+ 0,052	+ 0,098
18	135,0	0,666	62,9	0,678	0,635	0,628	— 0,043	— 0,050
			Durchschnitt	**0,609**	**0,683**	**0,605**	**+ 0,074**	**— 0,004**

*) Nadeln 4 jähriger Fichten,

Bemerkenswert ist weiter auch der Einfluß der Bodenazidität auf die Kieselsäureaufnahme der Nadeln. Die höchsten Kieselsäuregehalte finden wir vorwiegend in der Nadeltrockensubstanz von Fichten, welche auf stark austauschsauren Böden gewachsen sind:

Kaligehalt des Bodens mg K_2O/kg	Kieselsäuregehalt des Bodens über 250 mg SiO_2			Kieselsäuregehalt des Bodens unter 250 mg SiO_2		
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit
über 200	0,899	0,820	—	0,630	0,602	0,562
130—200	0,680	0,634	0,634	0,518	0,537	0,517
unter 130	1,054	1,579	1,452	0,645	0,796	0,671

Austauschazidität des Bodens pH	% SiO_2 in der Nadelntrockensubstanz		
	ungedüngt	40 %iges Kalisalz	Kainit
6,93—6,02	0,615	0,807	0,610
5,26—4,54	0,634	0,655	0,688
4,12—4,49	0,633	0,761	0,681
3,55—3,98	0,985	1,077	1,015

Mit Abnahme der Austauschazidität wird die Kieselsäureaufnahme der Nadeln allgemein merkbar herabgesetzt. Ein hoher Kieselsäuregehalt der Nadeln ist ein Zeichen, daß die Ernährung der Fichte unter Nährstoffmangel, insbesondere Kalk- und Phosphorsäuremangel, bzw. durch ungünstige Einwirkung der Chlorionen (Versuch Nr. 16) leidet.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluß einseitiger Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit auf die Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme der dreijährigen Fichten in Waldbaumschulen unter verschiedenen klimatischen und Bodenbedingungen untersucht.

1. Der Einfluß auf die Wuchsleistungen. Die Wirkung der Düngung ist in erster Linie von der Kaliversorgung, sowie von dem Kalk- und Phosphorsäuregehalt des Bodens abhängig. Als kalibedürftig für 3jährige Fichte können jene Böden betrachtet werden, welche in der obersten Schicht 0—20 cm weniger als 130 mg K_2O im Auszuge 1 kg Bodens mit 1%iger Zitronensäure enthalten. Einen wachstumsfördernden Einfluß hat die einseitige Kalidüngung allgemein nur auf Böden ausgeübt, welche einen günstigeren Vorrat an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure (über 100 mg P_2O_5 in 1 kg) und an austauschbarem Kalk (über 150 mg CaO in 100 g Boden, löslich in 10% NH_4Cl-Lösung) aufweisen. Auf kalkarmen Böden hat die einseitige Kalidüngung keine Wachstumsförderung hervorgerufen, trotz der Kalibedürftigkeit und der günstigeren Phosphorsäurevorräte, eher wurden bei den verwendeten Düngemittelgaben Wachstumsschädigungen festgestellt. Der ungünstige Einfluß der Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit auf das Höhenwachstum junger Fichten bei kalkbedürftigen, stärker austauschsauren Böden kann der Einwirkung der Chlorionen der Kalisalze zugeschrieben werden. Die Fichte ist eine chlorophobe Pflanze. Auf chlorreichen Böden hat die Düngung mit chlor-

haltigen Kalisalzen durchaus eine Herabsetzung des Wachstums verursacht; dagegen auf chlorarmen Böden wurde allgemein durch die Düngung mit 40 %igem Kalisalz eine günstige Wirkung erzielt, insbesondere bei einem Kaligehalt des Bodens unter 130 mg K_2O. Auf phosphorsäurearmen Böden, welche gleichzeitig eine stark austauschsaure Reaktion besitzen, hat die einseitige Kalidüngung meistens eine schädliche Wirkung ausgeübt, trotz der Kalibedürftigkeit der Böden.

2. Der Einfluß auf die Fichtenverluste. In vielen Fällen wurde durch die einseitige Düngung ein ungünstiger Einfluß ausgeübt. Die Nadeln haben eine gelblich grüne und später rotbraune Farbe angenommen und in diesen Fällen sind große Pflanzenverluste eingetreten. Bei Freilandversuchen muß mit dem Einflusse der Wasserversorgung der Pflanzen sowie mit Beschädigungen durch tierische, eventuell pflanzliche Schädlinge gerechnet werden. Die Eingänge der Fichten sind durch Mangel an Niederschlägen erhöht worden. Der Einfluß der Kalidüngung ist in erster Reihe von dem Zeitabstande zwischen der Düngung und Verschulung der Fichte abhängig. Die Fichtenverluste steigen wesentlich mit der Verringerung des Zeitabstandes zwischen Ausstreuen der Kalidüngemittel und der Verschulung der Fichtensämlinge. Die Kainitdüngung führte zu weit größeren Abgängen der Fichten als die Düngung mit 40%igem Kalisalz. Ganz geringe Verluste wurden bei dem Verabreichen der Kalidüngung 4—6 Wochen vor der Verschulung verzeichnet. Ganz verheerend wirkte jedoch die Kainitdüngung, wenn sie kurz vor oder sogar nach der Verschulung der Sämlinge verabreicht wurde; für diesen Fall betrugen die Verluste 35—45% oder mehr.

3. Der Einfluß auf die Ernährung der Fichte. Die Kaliaufnahme der Nadeln hängt allgemein von der Kaliversorgung des Bodens ab. Durchschnittlich wurde bei der Versuchsgruppe auf kalireichsten Böden eine deutliche Herabsetzung und nur auf kaliärmsten Böden (unter 100 mg K_2O/kg) eine Steigerung der Kaliaufnahme in Nadeln 3jähriger Fichten durch die Kalidüngung festgestellt. Während des Wachstums vom ersten bis zum dritten Jahre wurde die Kaliaufnahme der Nadeln auf kaliversorgten Böden (über 130 mg K_2O/kg) deutlich erhöht, auf kaliarmen Böden, die über 100 mg P_2O_5 enthielten, nur unwesentlich verändert. Dasselbe kann auch bei phosphorsäurearmen Böden beobachtet werden, nur die Grenze des Kaligehaltes des Bodens liegt bei dieser Versuchsgruppe auf stark austauschsauren Böden höher (über 175 mg K_2O). Die Kalisalzdüngung zeigte bei 3jährigen Fichten bei der Versuchsgruppe auf P_2O_5-versorgten Böden eine wesentlichere Steigerung der Kaliaufnahme bei kaliarmen, jedoch kalkversorgten im Vergleich zu kalkarmen Böden, die Kainitdüngung wirkte durchschnittlich besser auf kalkarmen Böden.

Die Stickstoffaufnahme der Nadeln hängt von der relativen Stickstofflöslichkeit ab: bei einer günstigeren Phosphor-

säureversorgung des Bodens wird durch die Kalidüngung auf stickstoffversorgten Böden die Stickstoffaufnahme gefördert, besonders bei gleichzeitigem Kalimangel des Bodens.

Die Phosphorsäureaufnahme der Nadeln sinkt allgemein bei ungedüngten Fichten mit der Abnahme des Phosphorsäuregehaltes im Boden. Die Kalidüngung bewirkte eine mäßige Steigerung der Phosphorsäureernährung der Nadeln nur bei den kaliärmsten Böden, die unter 100 mg K_2O in 1 kg Boden enthielten; sonst wurde der P_2O_5-Gehalt leicht herabgesetzt. Die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden wird durch den Kalkgehalt des Bodens beeinflußt. Auch bei stark kaliarmen Böden wurde durch die Kalidüngung der Phosphorsäuregehalt der Nadeln nicht erhöht, falls die Böden einen hohen Kalkgehalt aufwiesen.

Die Kalkaufnahme der Nadeln hängt allgemein von dem Gehalt des Bodens an austauschbaren Kalkverbindungen ab. Durch die einseitige Kalidüngung wird auf phosphorsäureversorgten Böden die Kalkaufnahme bei einer guten Kaliversorgung verringert, auf kaliarmen Böden wesentlich gesteigert, insbesondere durch die Düngung mit 40%igem Kalisalz. Ähnliches kann auch bei der Versuchsgruppe auf phosphorsäurearmen Böden verzeichnet werden, nur die Kainitdüngung wirkte stärker auf die Steigerung der Kalkaufnahme als 40%iges Kalisalz. Auf P_2O_5- und K_2O-armen Böden bewirkte die Kalidüngung ein Engerwerden des $K_2O : CaO$-Verhältnisses in Nadeln infolge der Kalkanreicherung durch die Einwirkung der Düngung.

Die Magnesiaaufnahme der Nadeln richtet sich im Durchschnitte nach dem Gehalt der austauschbaren Magnesiaverbindungen im Boden. Auf phosphorsäureversorgten Böden, welche die geringsten Kaligehalte aufweisen, bewirkte die einseitige Kalidüngung eine leichte Hebung der Magnesiaaufnahme. Sonst sind keine besonderen Änderungen eingetreten.

Die Manganaufnahme der Fichtennadeln hängt von der Bodenazidität und von dem Mangangehalt des Bodens ab. Aus stark austauschsauren und manganreichen Böden wird Mangan bedeutend mehr aufgenommen als aus neutralen oder schwach austauschsauren Böden. Durch die einseitige Düngung mit 40%igem Kalisalz und mit Kainit wird die Manganaufnahme der Nadeln merkbar erhöht, besonders auf stärker austauschsauren Böden. Auch durch die Kalibedürftigkeit des Bodens werden die Änderungen der Manganaufnahme beeinflußt; auf kalibedürftigen Böden wurde der Mangangehalt der Nadeln durch die Düngung mit chlorhaltigen Kalisalzen wesentlich mehr erhöht als auf kaliversorgten Böden.

Die Eisenaufnahme der Nadeln wird allgemein mit steigender Austauschazidität des Bodens gefördert. Der Eisengehalt des Bodens scheint für die Stärke der Eisenaufnahme des Bodens der Fichtennadeln wenig Bedeutung zu haben. Durch die ein-

seitige Kalidüngung wird die Eisenaufnahme besonders auf austauschsauren Böden merkbar erhöht.

Die Aluminiumaufnahme der Nadeln unterliegt allgemein dem Einflusse der Bodenreaktion und dem Gehalt an leichtlöslichen Aluminiumverbindungen im Boden. Die erheblichsten Aluminiumgehalte wurden in Nadeln der Fichten auf stark austauschsauren und aluminiumreichen Böden festgestellt. Mit Abnahme des Aluminiumgehaltes im Boden wird die Al_2O_3-Aufnahme der Nadeln herabgesetzt. Durch die einseitige Düngung mit chlorhaltigen Kalisalzen wurde die Aluminiumaufnahme allgemein deutlich unterstützt. Dabei bewirkte die Düngung mit 40%igem Kalisalz ein wesentlicheres Heransteigen der Al_2O_3-Aufnahme als die Kainitdüngung, insbesondere in den Versuchsgruppen auf aluminiumreichen Böden.

Die Kieselsäureaufnahme der Nadeln hängt allgemein von der Bodenazidität, sowie von dem Gehalt des Bodens an leichtlöslicher Kieselsäure ab. Mit Herabsetzung der Azidität des Bodens wird die Kieselsäureaufnahme durchschnittlich merkbar geringer. Auffallend hohe Kieselsäuregehalte der Nadeln sind ein Zeichen, daß die Ernährung der Fichte durch Nährstoff-, insbesondere Kalk- und Phosphorsäuremangel oder durch ungünstigen Einfluß von Chlorionen leidet. Die Kalidüngung bewirkt bei kieselsäureversorgten und kalibedürftigen Böden ein wesentliches Heransteigen der Kieselsäureaufnahme der Nadeln, auf kaliversorgten Böden bleibt der Kieselsäuregehalt durchschnittlich fast unverändert. Auf kieselsäurearmen Böden erschien ein leichtes Heransteigen der Kieselsäureaufnahme durch die Düngung nur bei kalibedürftigen Böden, die unter 130 mg zitronensäurelösliches K_2O in 1 kg enthielten.

Die Untersuchungen über die Einwirkung einseitiger Düngung mit 40%igem Kalisalz und Kainit auf die Wuchsleistungen und Ernährung der Fichte zeigen die mannigfaltigen Beeinflussungen der Düngerwirkungen durch die chemische Beschaffenheit des Bodensubstrats. Die mangelhafte Kaliversorgung des Bodens allein kann noch keine Gewähr für einen günstigen Einfluß der Düngung auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte leisten. Dabei tritt auch das chlorophobe Verhalten der Fichte gegenüber den chlorhaltigen Kalidüngemitteln merkbar hervor, welches die Anwendung dieser Düngemittel besonders bei höheren Gaben oft gefährlich macht. Mit Rücksicht auf die Gefahr der in Praxis oft erfolgten Schädigungen der chlorscheuen Jungpflanzen der Fichte sollten zu einem zweckmäßigen Ersatz des mangelhaft im Boden vertretenen Kali an Stelle der chlorhaltigen Kalisalze die chlorfreien Kalidüngemittel (schwefelsaures Kali und Patentkali) verwendet werden, bei welchen die Fichtenverluste nicht eintreten und die Förderung der Kaliernährung gewährleistet werden kann.

Schrifttum.

1. Schroeder, J.: Über die Düngung der Saatkämpe und Pflanzgärten mit besonderer Berücksichtigung des Nährstoffbedürfnisses junger Fichten. Tharandt. Forstl. Jb., Berlin, **43**, 1893, 129—156.
2. Councler, C.: Aschenanalysen von dreijährigen gedüngten Fichten. Z. Forst- und Jagdwesen, Berlin, **35**, 1903, 385—400.
3. Dulk, L.: Untersuchungen der Saatschulpflanzen. Monatsschrift f. d. Forst- u. Jagdwesen, **18**, 1874, 289—304.
4. Manshard, E.: Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Aschen forstlicher Kulturpflanzen aus den Halstenbeker Forstbaumschulen. Tharandt. Forstl. Jb., Berlin, **84**, 1933, 103—158.
5. Němec, A.: Über den Einfluß des Kalkens auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **7**, (52), 1938, 77—99.

   Němec, A.: Untersuchungen über den Einfluß der Phosphorsäuredüngung auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen. Ebenda, **11**, (56), 1938, 93—128.
6. Manshard, E.: Fichtenschädigungen durch chlorhaltige Düngemittel. Forstarchiv, Hannover, **7**, 1931, 215—217.
7. Němec, A.: Über den Chlorgehalt des Bodens und die Wirkung von chlorhaltigen Kalisalzen auf das Fichtenwachstum in den Forstbaumschulen. Ebenda, **8**, 1932, 228—232.
8. Jessen, W.: Über die Wirkung chlorhaltiger Kalisalze auf das Wachstum von verschiedenen Holzarten im Gefäßversuch. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **7**, (52), 1938, 62—77.
9. Councler, C., u. Schütze, W.: Über den Aschengehalt einjähriger Fichten. Forst- u. Jagdwesen, Berlin, **14**, 1882, 361—365.
10. Süchting, H., Jessen, W. und Maurmann, G.: Über die Wirkung der Düngung bei Waldböden, II. (Prüfung der Nährstoffwirkung nach physiologischen Methoden). Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **8**, (53), 1938, 272—335.
11. Süchting, H., Jessen, W. und Maurmann, G.: Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse des Waldes. III. Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme junger Holzpflanzen (Lärche, Kiefer, Fichte, Buche) in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung. Ebenda, **5**, (50), 1937, 338—374.
12. Masseva, M.: Zur Frage der Chlorophobie der Pflanzen. Ebenda, **1**, (46), 1936, 39—56.

[262]

Untersuchungen über die Ernährungsverhältnisse des Waldes.

IV.

Prüfung ausgewählter Waldböden auf Nährstofflieferung durch Vegetationsversuche mit Lärche, Kiefer und Fichte sowie auf Nährstofflöslichkeit durch chemische Untersuchungsmethoden.

Von **H. Süchting.**

Arbeit aus dem Institut für Bodenkunde der Forstlichen Hochschule Hann.-Münden.

Eingegangen: 5. Januar 1939.

Das bedeutsamste Problem der forstlichen Bodenkunde ist die Ermittelung der Bodengüte, d. h. seiner Leistungsfähigkeit beim Anbau der Holzarten.

Unter den für die Güte maßgebenden Großfaktoren sind nicht nur Gründigkeit, physikalische Lagerung und Wasserverhältnisse neben dem klimatischen Faktor der Lage, sondern auch die chemisch-biologischen Faktoren von größter Bedeutung, die vom Vorrat an pflanzenaufnehmbaren Nährstoffen und von der Reaktion des Bodens beherrscht werden.

Die chemisch-biologischen Faktoren erscheinen unter allen deshalb von ganz besonderer Wichtigkeit, weil nur sie bei Waldböden durch menschliche Maßnahmen an sich und nachhaltig verbessert werden können. Da früher oder später mit Sicherheit auch in der Forstwirtschaft künstliche Düngung und chemische Melioration des Bodens Anwendung finden werden, sind Vorarbeiten wissenschaftlicher Art auf diesem Gebiet erforderlich, die gar nicht frühzeitig und energisch genug in Angriff genommen werden können.

Die Prüfung der chemisch-biologischen Gütemerkmale muß vom physiologischen Gesichtspunkt aus geschehen. Praktisch und für die Zukunft interessiert uns z. B. an den Säure- und Reaktionsverhältnissen der Waldböden letzten Endes, in welcher Weise und in welchem Umfang die Wuchsleistung unserer Holzarten von der Bodenreaktion beeinflußt wird. Die Frage, in welcher Weise dies geschieht, läßt sich schon durch Vegetationsversuche in Gefäßen prüfen, die Frage jedoch, in welchem Umfang es geschieht, wird man nur durch praktische Düngungsversuche in systematischem Stil prüfen können und müssen.

Die erste Frage, in welcher Weise und ob überhaupt durch die Bodenreaktion eine Beeinflussung der Wuchsleistung unserer Holzarten erfolgt, ist von mir schon durch eine größere Anzahl von Versuchen (1, 2) geprüft. Auch Großflächen-Düngungsversuche konnten von mir wenigstens in einer kleinen Anzahl schon eingerichtet werden.

Der zweite Teilfaktor der chemisch-biologischen Gütemerkmale, Vorrat des Bodens an pflanzenaufnehmbaren Nährstoffen, ist von mir auch seit einer Reihe von Jahren untersucht und Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Es handelt sich hier nicht nur darum, diese Gütemerkmale der Waldböden in größerem Umfang kennen zu lernen, sondern zunächst vor allem darum, eine Methode zu finden, nach der man mit möglichst geringem Arbeitsaufwand die Gütemerkmale noch ausreichend genau ermitteln kann.

Es ist bekannt, daß z. Z. gerade auf landwirtschaftlichem Gebiet die größten Anstrengungen gemacht wurden, eine solche Methode zur Bestimmung der Nährstofflieferung des Ackerbodens zu finden. Man hat sie in der Neubauer-Methode gefunden. Die hierbei gemachten Erfahrungen stehen mir natürlich zur Verfügung.

Jedoch sind die Verhältnisse der Waldböden gerade hinsichtlich der chemischen Wirkungsfaktoren so grundlegend verschieden von den Verhältnissen der Ackerböden, daß die Methodik landwirtschaftlicher Art nicht immer anwendbar oder doch einer Erprobung an Waldböden bedürftig ist.

Es gibt zwei Wege für diese Methodik. Einmal kann man die physiologische Methode anwenden, indem man durch eine Kulturpflanze vermittels des Vegetationsversuches die Aufnehmbarkeit der Bodennährstoffe prüft. Hier ist der Neubauer-Versuch nicht anwendbar, weil die Roggenpflanze sich in den sauren Waldböden nicht normal verhält. Auch sonst ist leicht ersichtlich, daß es vorteilhaft ist, bei Waldböden eine der wichtigen Holzarten zu verwenden. Wegen der langsamen Entwicklung kann ein Keimpflanzenversuch nach Naubauer wieder nicht in Frage kommen. Die jungen Holzpflanzen müssen längere Zeit wachsen, bei diesen Versuchen vorläufig einen ganzen Sommer hindurch. Aus methodischen Gründen verwende ich zuerst mehrere Holzarten, bei diesem Versuch Lärche, Kiefer und Fichte, und die Buche nur deshalb nicht, weil kein Saatgut zu haben war.

Zweitens kann man die Löslichkeit der Bodennährstoffe auf chemischem Wege ermitteln. Zahl und Variationen der Methoden, die bei Ackerböden angewendet wurden, sind hier sehr groß.

Ich habe folgende Methoden angewendet:

1. Auszug des Bodens mit 10%iger Salzsäure, Bestimmung von Kali, Kalk, Magnesia und Phosphorsäure,
2. Auszug des Bodens mit 10%iger Ammoniumchloridlösung, Bestimmung des austauschbaren Kalis und Kalkes,
3. Auszug des Bodens mit 1%iger Zitronensäure, Bestimmung der Phosphorsäure.
4. Außerdem hatte Herr Prof. Köttgen[1]), Gießen, die Liebenswürdigkeit, die in Frage kommenden Böden nach seiner Methode der Elektro-Ultrafiltration zu untersuchen, da mir seine neue Apparatur noch nicht zur Verfügung stand.

Hinsichtlich der Methodik muß wichtig erscheinen, alle diese Methoden bei einer größeren Anzahl unterschiedlicher Böden gleichzeitig anzuwenden, um zu sehen, ob eine gewisse Parallelität in den Zahlenwerten zum Ausdruck kommt.

Hierbei wird die physiologische Methode des Holzarten-Vegetationsversuches gewissermaßen den Rang einer Standardmethode

[1]) Ich spreche Herrn Kollegen Köttgen auch an dieser Stelle meinen besten Dank aus.

haben. Die Versuchs-Ergebnisse müssen mit denen der chemischen Untersuchungsmethoden verglichen werden, um den Grad etwaiger Parallelität zu ermitteln. Denn es kann nicht zweifelhaft sein, daß irgendeine chemische Methode wegen der leichten, billigen Ausführbarkeit und Eignung für Massenanalysen vor der physiologischen Methode den Vorzug verdient.

Versuchsanstellung.

1. Vegetationsversuch.

Frühere Versuche zeigten, daß die Nadelhölzer sich in Neubauer-Schalen einen Sommer hindurch normal und gut kultivieren lassen. Es kamen demnach Glasschalen nach Neubauer zur Verwendung, die außen mit Lack gestrichen waren, um Belichtung des Bodens und der Wurzeln und Algenentwicklung zu vermeiden. Die Schalen wurden mit durchschnittlich 500—600 g Boden beschickt (siehe später). Um die sehr lastige Entwicklung von unter Umständen dicken Moospolstern auf der Oberfläche der sauren Böden ganz zu unterbinden, bedeckt man den Boden mit einer Schicht von sterilem Sand (60 g Gebläsesand Dörentrup, mit HCl gewaschen).

Die einfachste Ausführung des Versuches wäre nun so gewesen, daß in dem entnommenen Boden ohne weitere Behandlung oder Düngung die Nadelhölzer erzogen worden wären. Indessen haben mir Versuche (1, 2) gezeigt, daß die Nährstoffaufnahme aus sauren Böden durch die Bodenreaktion beeinflußt wird. In stärkstem Maße ist dies bei der Kalkaufnahme der Fall, die in sauren Böden behindert ist; aber auch die Kali- und vielleicht auch die Phosphorsäureaufnahme werden beeinflußt.

Um bei den doch recht verschieden sauren Böden eine weitere Vergleichmöglichkeit untereinander zu gewinnen, wurden die Böden auch in gekalktem Zustand verwendet. Sie wurden durch entsprechend ermittelte Kalkgaben nach meiner Methode (vgl. 1, S. 340) alle bis zur p_H-Zahl 5 (KCl) entsäuert.

Um außerdem auch die Nährstoffaufnahme in „normalem" Umfang kontrollieren und Mangelerscheinungen feststellen zu können, sind noch Reihen mit Volldüngung bzw. Mangelreihen für Kali, Kalk, Phosphorsäure und Stickstoff eingerichtet worden.

Düngungsplan (je Reihe 3 Gefäße):

Reihe 1,	ungedüngt.	
Reihe 2,	Volldüngung ohne Kalk,	K, P, N.
Reihe 3,	wie 2, aber ohne Kali,	P, N.
Reihe 4,	wie 2, aber ohne Phosphorsäure,	K, N.
Reihe 5,	wie 2, aber ohne Stickstoff,	K, P.
Reihe 6,	Volldüngung mit Kalk,	Ca, K, P, N.
Reihe 7,	wie 6, aber ohne Kali,	Ca, P, N.

Dieser Plan gilt für die Holzarten Lärche und Kiefer, für Fichte fielen die Reihen 4 und 5 aus, ebenso die gekalkten Reihen 6 und 7 für die Böden: Basalt und Muschelkalk bei allen Holzarten, weil diese Böden genügend basenreich erschienen.

Art und Stärke der Düngung. Je Neubauer-Schale wurde gegeben:

40 mg K_2O in K_2SO_4,
60 mg P_2O_5 in $(NH_4)H_2PO_4$,
30 mg N in $(NH_4)H_2PO_4 + NH_4NO_3$, für die Reihen „Volldüngung"

ferner:

40 mg K_2O in K_2SO_4,
30 mg N in NH_4NO_3, für die Reihen „Volldüngung ohne Phosphorsäure"

ferner:

30 mg K_2O und 23 mg P_2O_5 in K_2HPO_4 und
15 mg K_2O und 23 mg P_2O_5 in KH_2PO_4
für die Reihen „Volldüngung ohne Stickstoff".

Die Stärke der Kalkung ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

Die verwendeten Böden:

Bezüglich der Säureverhältnisse sei darauf hingewiesen, daß zwar die meisten Böden in der p_H-Zahl der Austauschazidität nicht sehr große Unterschiede zeigen, aber die Spanne zwischen der aktiven und der Austauschazidität ist doch sehr verschieden. In dieser Spanne kommt bis zu einem gewissen Grade die Pufferkraft zum Ausdruck. Die Böden: Basalt und Tonschiefer (Muschelkalk bleibt natürlich außer Betracht) haben eine wesentlich größere Spanne zwischen den genannten p_H-Zahlen als die anderen, und die Diluvialsande haben die kleinste Spanne.

Ferner sei noch angegeben, daß keiner der Böden stärker degradiert war. Es handelt sich schlimmstenfalls um AC-Böden

Tabelle 1.

Boden	Azidität			Je Gefäß	
	aktive p_H	Austausch-, p_H	Austausch-, ccm n/10 NaOH je 100 g Boden	g Boden, trocken	g $CaCO_3$ Entsäuerung bis p_H (KCl) = 5,0
Muschelkalk (Verwitt.), schwerer Lehm, Dransfeld . . .	7,7	7,1	—	450	—
Basalt (Verwitt.), Lehm, Lehrforstamt Gahrenberg, Distrikt 102	4,8	3,9	17,5	440	—
Tonschiefer (Verwitt.), Lehm mit Schieferbrocken, Forstamt Schwalbach, Distrikt 48	4,3	3,6	26,0	500	1,75
Lößlehm, Lehrforstamt Gahrenberg, Distrikt 48	4,3	4,0	23,5	500	1,1
Quarzit (Verwitt.), anlehmiger Sand, Forstamt Schwalbach, Distrikt 7	3,9	3,6	27,5	500	1,5
Bausandstein (Verwitt.), schluffiger Feinsand, Stadtforst Hann.-Münden, Distrikt 101	4,2	3,8	25,5	500	1,25
Tertiärer Sand, mittelfeiner anlehmiger, Lehrforstamt Kattenbühl, Distrikt 83	4,3	4,0	18,6	500	1,0
Diluvialsand, anlehmiger, Forstamt Ebstorf, Jagen 75 . . .	3,8	3,6	18,8	600	1,08
Diluvialsand, Provinzialoberförsterei Lintzel, Jagen 293 . .	4,0	4,0	16,6	600	1,2

Die Angaben über den Nährstoffgehalt folgen in besserem Zusammenhang später.

mit unbedeutend ausgebildetem A_1-Horizont (geringe Einwaschung von Humus). Die Degradation kommt also äußerlich kaum zum Ausdruck, wohl aber ist sie durch Auswaschung, Entbasung und Versäuerung innerlich entwickelt (verborgen podsolig). Dies gilt zwar nicht für den Muschelkalk, aber schon für den Basalt und auch den Tonschieferboden, die beide noch normale, um nicht zu sagen, gute Reaktionsverhältnisse aufweisen, obgleich sie schon stärker austauschsauer sind.

Es muß noch betont werden, daß die Böden aus der oberen Mineralzone von 0—20 cm entnommen sind. Hierzu ist eine Begründung nötig, die wichtige Grundsätzlichkeiten der Untersuchung betrifft. Diese obere Bodenzone hat beim Waldboden anderen Charakter und andere Bedeutung als bei landwirtschaftlich genutzten Böden. Bei letzteren ist diese Zone (bis 20 oder 25 cm) gekennzeichnet als die Zone der wesentlichen Bearbeitung und Düngung, aus der auch die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in der Hauptsache oder doch weit mehr als die meisten Holzarten ihren Nährstoffbedarf decken. Die Holzarten entnehmen die Nährstoffe bei Ausbreitung des Hauptwurzelsystems in größerer Tiefe (je nach Bodenart und Bodentyp bis 60—80 cm oder auch wesentlich tiefer, Besonderheit der Holzart, z. B. Kiefer) wohl in erheblichem Umfang aus diesen Zonen, so daß man daraus schließen möchte, daß diese Untersuchungen, praktisch gesehen, recht fragwürdig sein müssen. Dies ist durchaus nicht der Fall. Die obere Zone des Waldbodens nimmt nämlich, praktisch gesehen, für den Waldbau eine sehr wichtige Sonderstellung ein, die eine Prüfung ihrer Gütemerkmale dringend geboten erscheinen läßt.

Einmal ist die obere Mineralbodenzone die Schicht der stärksten Auswaschung, Entbasung, Nährstoffverarmung und Versäuerung; sie ist am stärksten degradiert. Im ursachlichen Gefolge davon ist diese Zone dann auch physikalisch verschlechtert (verdichtet) und vor allem biologisch degradiert. Sehr viele Waldböden haben einen mehr oder minder hohen Grad einer derartig verborgen podsoligen Degradation, die sich mangels jeder Bodenbearbeitung[2]) und Vermischung der Oberzone ungestört im Laufe oft langer Zeiten herausbilden konnte. Solche Böden haben entsprechend dem Grad der Podsolierung immer eine Neigung zu schlechter Streuzersetzung, d. h. zur Humusbildung. Letzteres ist

[2]) Wenn bei Waldböden durch Bodenbearbeitung erwiesenermaßen namentlich bei Neukultur und in der Kiefernwirtschaft gute Erfolge erzielt werden, so ist das kaum auf die Verbesserung der physikalischen Bodenbeschaffenheit zurückzuführen, die nur vorübergehend wirksam sein kann, als vielmehr darauf, daß die oberste, am stärksten degradierte Schicht mit der tieferen weniger entbasten Schicht vermischt wird. Es kommt gewissermaßen ein frischer und irgendwie besserer Boden nach oben, der das Wachstum der Keimpflanzen und jungen Pflanzen hinreichend begünstigt, so daß die Kultur besser oder überhaupt erst gelingt, z. B. bei Naturverjüngung der Buche. Diese Erklärung findet eine besondere Stütze in den neuen Ergebnissen meiner Versuche (1, 2), die zeigen, in wie hohem Maße das Wachstum der Holzarten von der Reaktion und den Nährstoffen des Bodens abhängig ist.

aber für die Wuchsleistung der Holzarten von großem Nachteil, weil der Kreislauf der Nährstoffe quantitativ durch Festlegung der Streunährstoffe im Humus verkleinert wird. Bei den an sich meist nicht reichen Waldböden spielt diese Herausnahme der Nährstoffe aus dem Kreislauf eine große Rolle derart, daß die Wuchsleistung des Bestandes zunehmend nachläßt. Selbst wenn man dies für alle übrigen Nährstoffe außer Stickstoff nicht gelten lassen will, indem man sagt, daß die Aufnahme dieser Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten hinreichend vor sich geht, so gilt es doch unbedingt für den Stickstoff, der in beherrschendem Umfang aus der Streu mobilisiert werden muß.

Aber nicht nur in dieser Weise hinsichtlich der Einflüsse biologischer Art auf Streuzersetzung, Humusbildung und quantitative Veränderungen des Nährstoffkreislaufes hat die obere Mineralbodenschicht eine besondere Aufgabe für den Waldboden und den Bestand. Diese Schicht ist auch physiologisch unmittelbar für das Wachstum der Holzarten von größtem Einfluß, solange die Pflanzen — jung sind[2]). Die Keimpflanzen und die jungen Pflanzen überhaupt sollen zunächst in der oberen Bodenzone zur Entwicklung kommen. Sie sind von der Reaktion, den verfügbaren Nährstoffen und der biologischen Tätigkeit (Stickstoff) in dieser Schicht abhängig. Bei mangelhafter Beschaffenheit dieser Oberschicht treten bei der Neukultur oft jahrelang große Störungen auf, die für die Wirtschaftlichkeit der Forstwirtschaft von großer Bedeutung sind.

Ich denke, aus diesen Darlegungen kann man entnehmen, daß es eine lohnende Aufgabe ist, das physiologische Verhalten dieser oberen Waldbodenschicht genauestens zu untersuchen und ihre Gütemerkmale zu prüfen.

Es liegt also hier eine Sonderuntersuchung der oberen Waldbodenschicht vor. Die Begrenzung bis 20 cm Tiefe ist sicher in gewissem Sinne willkürlich. Eine andere Begrenzung für die Probeentnahme vorzunehmen, ist aber nur gerechtfertigt, wenn ein ausgeprägter A-Horizont des Bodens vorhanden ist. Natürlich wird es zweckmäßig sein, auch die tieferen Bodenschichten ähnlichen Untersuchungen zu unterwerfen, wie es hier geschieht. Man wird sicher wertvolle Aufschlüsse über den Grad der Verwitterung (gleich Pflanzenaufnehmbarkeit der Nährstoffe) in diesen Schichten und über Unterschiede bei verschiedenen Bodenarten, verschiedenem Klima und Pflanzenbestand erhalten.

Saatgut und Aussaat.

Das Saatgut der europäischen Lärche, der Kiefer und Fichte wurde von der Staatsdarre Wolfgang bezogen. Aussaat für alle Holzarten Ende April-Anfang Mai 1937, nur bei Lärche mit vorgekeimten Samen.

Für die Behandlung der Kulturen gilt im übrigen alles, was in einer früheren Arbeit (1, S. 340 u. f.) angegeben ist.

Tabelle 2.

Versuchspflanze: Lärche.

Boden	Erträge in g je Gefäß in der Versuchsreihe						
	1	2	3	4	5	6	7
		ohne Kalk				mit Kalk	
		Volldüngung				Volldüngung	
	ungedüngt	K, P, N	ohne K	ohne P	ohne N	Ca K, P, N	ohne K
1. Muschelkalk	0,64[1] 0,86 1,44	2,17 1,83 0,78[2]	1,72 2,13 1,92	1,65 1,58 1,24	2,10 2,29 1,65		
Mittelwerte	1,0	1,6	1,9	1,5	2,0		
2. Basalt	4,80 4,57 4,41	7,17 6,01 7,79[3]	6,88 5,91 5,55	4,97 4,51 3,43	6,72 5,61 6,28		
Mittelwerte	4,6	7,0	6,1	4,3	6,2		
3. Tonschiefer	2,61 2,43 3,87	4,50 6,09 4,56	3,67 6,20 5,29	3,00 3,55 3,29	4,49 5,15 5,69	4,80 6,33 5,76	6,27 6,41 5,57
Mittelwerte	3,3	5,1	5,1	3,3	5,1	5,6	6,1
4. Lößlehm	1,71 2,08 1,45	2,42 3,12 2,40	2,03 2,66 2,16	2,43 1,93 1,91	2,42 2,13 2,60	4,35 4,49 4,31	4,94 4,34 4,05
Mittelwerte	1,8	2,7	2,3	2,1	2,4	4,4	4,4
5. Quarzit	1,20[4] 1,81 2,39	2,50 2,95 2,91	3,28 3,12 2,60	1,97 2,35 1,88	2,27 2,82 2,65	3,63 5,09 3,56	2,80[5] 3,86 4,46
Mittelwerte	1,8	2,8	3,0	2,1	2,6	4,1	3,7
6. Bausandstein	2,22 2,20 1,70	3,71 2,70 3,98	3,15 2,69 3,11	2,42 1,66 2,55	2,92 2,82 2,78	3,84 3,26 3,79	4,67 3,38 3,33
Mittelwerte	2,0	3,5	3,0	2,2	2,8	3,6	3,8
7. Tertiärer Sand	2,51 2,20 2,29	4,43 3,39 3,50	3,15 2,81 3,18	1,87 1,55 1,44[6]	2,89 2,83 2,82	4,95 4,03 4,08	3,70 3,54 3,23
Mittelwerte	2,3	3,8	3,1	1,6	2,9	4,4	3,5
8. Diluvialsand Ebstdorf	2,45 2,64 2,70	5,37 4,88 3,99[7]	4,37 4,84 4,86	3,56 2,81 3,31	2,80 2,73 2,63	5,44 4,38 4,53	4,11 4,66 4,11
Mittelwerte	2,6	4,8	4,7	3,2	2,7	4,8	4,3
9. Diluvialsand Lintzel	2,12 2,27 1,96	4,32 3,81 3,97	4,40 4,17 4,26	2,02 2,15 2,07	2,95 2,98 3,13	4,58 4,72 4,80	4,56 4,22 4,37
Mittelwerte	2,1	4,0	4,3	2,1	3,0	4,7	4,4

Anmerkungen zur Pflanzenzahl. Versuch: Lärche Muschelkalk unbrauchbar, weil Erträge und Pflanzenzahlen stark schwankend und schlecht, so bei [1]) 13. [2]) 12 und nirgends mehr als 30 statt normal 40 Pflanzen. [3]) höchste Ernte, aber nur 30 Pflanzen! [4]) nur 23 Pflanzen. [5]) nur 27 Pflanzen. [6]) nur 25 Pflanzen. [7]) nur 27 Pflanzen.

Vegetationsbeobachtungen.

Aufgang und Jugendentwicklung normal. Ausnahme: auf dem Muschelkalkboden verzögerter und unregelmäßiger Aufgang, namentlich bei Lärche.

Anfang Juli zeigen Lärche und Kiefer, nur auf den beiden Diluvialböden, bereits Mangelerscheinungen für Phosphorsäure und Stickstoff.

Mitte Juli weitere Mangelerscheinungen: Lärche für Phosphorsäure auf Tonschiefer, Bausandstein, tertiärem Sand, Kiefer deutlich nur auf Bausandstein, Fichte zeigt keine Reaktionen. Nur die Lärche reagiert schärfstens auf Kalk bei Lößlehm.

Mitte August weitere deutliche Mangelerscheinungen für Phosphorsäure und Stickstoff bei Lärche und Kiefer auf allen Böden mit Ausnahme des Basalt- und Muschelkalkbodens.

Die Kalkwirkung war sehr stark bei Lärche auf Lößlehm vorhanden. Hier wiesen die Pflanzen in allen ungekalkten Reihen nur einen kümmerlichen Wuchs auf. Schwächere Kalkwirkung bei Kiefer auf Lößlehm, noch geringer bei Bausandstein und tertiärem Sand.

Stärkstes Wachstum bei Lärche und auch Kiefer auf Basalt. Auf Muschelkalk versagt die Lärche bei lückigem Wuchs fast ganz, auch die Kiefer wächst hier nur mäßig.

Zusammenfassung: Deutliche Phosphorsäure-Mangelerscheinungen in den ungekalkten, nicht mit P_2O_5 gedüngten Reihen bei Lärche auf den Böden: Basalt, Tonschiefer, Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand und beiden Diluvialsanden, bei Kiefer auf den Böden: Basalt, Lößlehm, Quarzit, Tertiärsand und den Diluvialsanden.

Die Erscheinungen bestanden in einer dunkelgraugrünen Verfärbung der Nadeln, bei Kiefer auch violettroter Verfärbung der Nadeln von der Spitze her. Außerdem war das Wachstum meist wesentlich geringer.

Stickstoffmangelerscheinungen ebenfalls in den ungekalkten nicht mit N gedüngten Reihen bei Lärche auf den Böden: Tertiärsand und den beiden Diluvialsanden; bei Kiefer auf Lößlehm, Quarzit, und den gleichen Böden wie bei Lärche.

Die Pflanzen waren im Wachstum geringer und sahen hellgelb aus.

Die Fichte zeigte keine nennenswerten Unterschiede.

Ernte der Pflanzen vom 26. September bis 11. Oktober 1937.

Versuchsergebnisse.

I. Trockensubstanzerzeugung.

In den Tabellen 2, 3 und 4 sind die Erträge für die drei Holzarten zusammengestellt. Ich habe lange Zeit Bedenken gegen die Verwendung der kleinen Neubauer-Schalen gehabt, in denen die Entwicklung der wenn auch kleinen einjährigen Pflänzchen doch vielleicht nicht so normal erfolgen könnte, wie in den Mitscherlich-Gefäßen. Es sind auch schon Versuche im Gange, um diese grundsätzliche und wichtige Frage weiter zu prüfen. Indessen zeigen die vorliegenden Erträge, die bei Lärche bis 7 g im Durchschnitt, bei Kiefer über 6 g und bei der immer schwachwuchsigeren Fichte über 5 g für je 40 Pflanzen gehen, daß die Höhe dieser Erträge je Pflanze durchaus den Erträgen entspricht, die ich bei zahlreichen Versuchen mit Mitscherlich-Gefäßen auch nur je Pflanze erzielt habe. Dabei sei gleich erwähnt, daß die Stickstoffdüngung bei diesem Versuch offenbar zu klein gewesen ist. Bei den Versuchen des laufenden Jahres habe ich mit doppelt so hoher Stickstoffgabe, die auf das Bodengewicht umgerechnet noch nicht übertrieben stark ist, Ernten in Aussicht, die über das oben angegebene Maß noch

erheblich hinausgehen dürften. Das besprochene Bedenken erscheint also schon ohne nähere Prüfung hinfällig.

Tabelle 3.

Trockensubstanzerzeugung. Versuchspflanze: Kiefer.

Boden	Erträge in g je Gefäß in der Versuchsreihe						
	1	2	3	4	5	6	7
		ohne Kalk				mit Kalk	
		Volldüngung				Volldüngung	
	ungedüngt	K, P, N	ohne K	ohne P	ohne N	Ca, K, P, N	ohne K
1. Muschelkalk	4,32	3,89	4,15	3,60	3,45		
	3,75	3,37	4,25	3,38	3,80		
	3,68	3,92	3,32	3,19	3,31		
Mittelwerte	3,9	3,7	3,9	3,4	3,5		
2. Basalt	4,30	5,92	5,18	4,47	5,54		
	4,42	5,71	5,70	4,33	5,29		
	4,16	6,25	5,81	4,96	5,46		
Mittelwerte	4,3	6,0	5,6	4,6	5,4		
3. Tonschiefer	4,22	5,37	5,75	5,20	5,30	6,05	5,77
	4,87	5,54	5,66	5,24	5,30	6,67	5,18
	4,40	5,55	6,70	5,12	4,90	6,18	5,55
Mittelwerte	4,5	5,5	6,0	5,2	5,2	6,3	5,5
4. Lößlehm	3,14	4,68	4,40	3,45	3,65	5,01	4,24
	3,10	4,46	4,41	3,27	3,82	4,92	4,43
	3,81	4,71	4,04	3,53	3,66	4,60	5,97
Mittelwerte	3,4	4,6	4,3	3,4	3,7	4,8	4,9
5. Quarzit	3,21	3,67	3,82	3,17	3,11	4,70	4,63
	2,80	3,55	4,44	3,37	2,91	4,70	4,63
	3,00	3,89	4,32	2,81	2,98	3,60	4,10
Mittelwerte	3,0	3,7	4,2	3,1	3,0	4,1	4,3
6. Bausandstein	2,87	3,80	3,23	3,15	3,18	4,54	4,43
	2,81	3,53	3,54	3,24	3,13	4,33	4,03
	2,66	3,70	3,20	3,27	2,65	4,11	3,90
Mittelwerte	2,8	3,7	3,3	3,2	3,0	4,3	4,1
7. Tertiärer Sand	3,65	5,01	4,18	3,88	3,15	5,58	4,00
	3,09	4,46	4,29	3,56	3,15	4,56	4,19
	3,39	4,77	3,90	3,27	3,01	5,01	3,81
Mittelwerte	3,4	4,8	4,1	3,6	3,1	5,1	4,0
8. Diluvialsand Ebstorf	2,72	5,09	4,77	4,01	2,63	5,41	3,86
	2,78	5,34	4,83	4,47	2,54	4,22	5,10
	2,58	4,68	4,30	4,06	2,68	4,67	4,36
Mittelwerte	2,7	5,0	4,6	4,2	2,6	4,8	4,4
9. Diluvialsand Lintzel	2,38	4,52	3,99	2,92	2,46	3,58*)	4,14
	2,39	4,19	4,58	3,24	2,52	4,65	4,15
	2,30	4,11	4,17	2,82	2,65	4,52	4,19
Mittelwerte	2,4	4,3	4,3	3,0	2,5	4,3	4,2

*) Schlechte Wurzelentwicklung der Pflanzen beobachtet! Anmerkungen zur Pflanzenzahl: keine Beanstandungen!

Tabelle 4.

Trockensubstanzerzeugung. Versuchspflanze: Fichte.

Boden	Erträge in g je Gefäß in der Versuchsreihe				
	1	2	3	6	7
		ohne Kalk		mit Kalk	
		Volldüngung		Volldüngung	
	ungedüngt	K, P, N	ohne K	Ca, K, P, N	ohne K
1. Muschelkalk	2,99 2,88 3,37	3,20 2,91 3,18	2,73 3,45 3,13		
Mittelwerte	3,1	3,1	3,1		
2. Basalt	3,60 3,15 3,40	4,40 4,55 4,05	3,98 3,90 4,44		
Mittelwerte	3,4	4,3	4,1		
3. Tonschiefer	4,14 4,05 [1]) 3,51	5,44 5,31 5,63	5,63 4,86 5,06	5,70 5,27 5,32	4,47 4,91 5,20
Mittelwerte	3,9	5,5	5,2	5,4	4,9
4. Lößlehm	2,83 3,03 2,45	3,41 3,37 2,17 [2])	3,12 3,20 2,87	3,98 3,66 3,37	4,21 3,56 4,23
Mittelwerte	2,8	3,0	3,1	3,7	4,0
5. Quarzit	2,44 2,64 2,99	3,46 3,65 3,78	3,60 3,57 3,69	4,42 3,91 4,50	4,14 4,22 4,23
Mittelwerte	2,7	3,6	3,7	4,3	4,2
6. Bausandstein	2,39 2,34 2,43	3,27 3,77 3,67	3,25 3,26 3,51	3,47 3,53 3,39	3,40 3,41 3,24
Mittelwerte	2,4	3,6	3,4	3,5	3,4
7. Tertiärer Sand	2,99 3,25 3,35	3,37 3,58 3,97	3,69 3,89 3,73	4,38 4,89 4,51	3,51 3,77 3,60
Mittelwerte	3,2	3,6	3,8	4,6	3,6
8. Diluvialsand Ebstorf	2,81 2,93 2,83	4,40 4,54 5,00	4,69 4,65 4,50	5,24 4,94 4,96	4,60 4,94 5,11
Mittelwerte	2,9	4,7	4,6	5,1	4,9
9. Diluvialsand Lintzel	2,72 2,78 2,86	4,13 4,12 4,14	4,02 4,24 4,07	4,64 4,66 4,51	4,22 4,05 4,12
Mittelwerte	2,8	4,1	4,1	4,6	4,1

Anmerkungen zur Pflanzenzahl: [1]) nur 33 Pflanzen; [2]) nur 30 Pflanzen.

Über die Übereinstimmung der Erträge in den Parallelgefäßen muß auch noch etwas gesagt werden. Wenn auch die Gewichtsunterschiede zwischen den Reihen nicht groß sind, so ist doch die

Übereinstimmung in den einzelnen Reihen meist recht gut, so daß die Unterschiede zwischen den Reihen eindeutig sind. Indessen kommen doch viele Abweichungen vor, sogar derart, daß Überschneidungen in den Zahlen zwischen zwei Reihen vorhanden sind. Dies ist besonders bei den Reihen mit und ohne Kali der Fall, so daß entsprechende Schlüsse unsicher sind. Einmal hängt dies mit der unzureichenden Stickstoffgabe zusammen, dann aber auch wohl mit einer nachteiligen Wirkung der Kalisalze in den ungekalkten Reihen. Bei stärkerer Stickstoffdüngung wäre das die Kalifrage betreffende Bild viel eindeutiger geworden, ähnlich besser, wie wir es bei Betrachtung der Werte für die Kaliaufnahme später werden feststellen können.

Wo mangelhafte Übereinstimmung der Parallelen und Überschneidungen vorliegen, ist dies nur selten auf eine ungleiche Pflanzenzahl in den Gefäßen zurückzuführen. Es hat sich auch hier wieder bestätigt, daß die Pflanzenzahl stark schwanken kann, ohne daß dies in der Ertragsmasse zum Ausdruck kommt. Dies war bei meinen früheren Versuchen auch der Fall (3). Um das Zahlenmaterial zu verringern, wird deshalb die Pflanzenzahl in den Tabellen nicht mehr aufgeführt. Wo eine Beziehung zwischen Zahl und Ertrag jedoch in Ausnahmen ohne weiteres ersichtlich war, ist dies in einer Fußnote zu den Tabellen angegeben.

1. Bedürftigkeit für alle normal wichtigen Nährstoffe.

Eine solche Bedürftigkeit, bei Kalk auch hinsichtlich der Wirkung auf die Bodenreaktion zum Ausdruck kommend, wird dadurch angezeigt, daß die vollgedüngten und gekalkten Reihen den höchsten Ertrag liefern. Die Holzarten zeigen Unterschiede. Die Lärche reagiert, wie auch bei früheren Versuchen, am stärksten. Hier ist Höchstertrag bei absoluter Volldüngung vorhanden bei den Böden: Tonschiefer, Lößlehm, Quarzit, Tertiärsand, Diluvialsand Lintzel und vielleicht auch beim Bausandstein, bei dem die Kalkwirkung unsicher erscheint. Der Diluvialsand Ebstorf reagiert nicht auf Kalk, er hat aber sonst auch bei Volldüngung den höchsten Ertrag geliefert. Von den beiden hochwertigen Böden, die gerade wegen ihrer voraussichtlich hohen Nährstoffgüte zur Vergleichung herangezogen sind, kommt bei Lärche aus angeführten Gründen (vgl. Anmerkung zur Tabelle 2) nur der Basalt in Betracht, der ebenfalls bei Volldüngung schon ohne Kalkung den höchsten Ertrag liefert.

Die Lärche war also, von einigen z. T. in der Bodengüte (Basalt) begründeten Ausnahmen abgesehen, nur bei Zufuhr aller Nährstoffe Ca, K, P und N in der Lage, den höchsten Ertrag zu liefern.

Die Kiefer zeigt grundsätzlich, was betont werden muß, das gleiche Verhalten, nur sind die Unterschiede nicht so groß. Immerhin sind die Erträge auch am höchsten nach absoluter Volldüngung (Kalkung) bei den Böden: Tonschiefer, Quarzit und Bausandstein, nur wenig höher als in den Reihen ohne Kalk und deshalb fraglich bei: Lößlehm und Tertiärsand, bei welchen Böden schon ohne Kalkung fast ebenso hohe Erträge anfallen. Ähnlich ist es bei den beiden Diluvialsanden, die, wie der Basalt, schon ohne Kalkung

aber doch bei Volldüngung den höchsten Ertrag lieferten. Indessen muß zu allem einschränkend gesagt werden, daß die Kaliwirkung oft fragwürdig ist.

Bei Fichte sind nur Kali- und Kalkwirkung geprüft. Indessen ist auch hier der höchste Ertrag vorhanden nach Volldüngung mit Kalk bei den Böden: Lößlehm (schon ohne Kali), Quarzit, Tertiärsand und beiden Diluvialsanden, nach Volldüngung ohne Kalk auch noch bei den Böden: Basalt, Tonschiefer und Bausandstein.

Abschließend kann gesagt werden, daß bei den untersuchten Böden in vielen Fällen doch nur die Zufuhr aller Nährstoffe den hochsten Ertrag ermöglichte, daß also in diesem Sinne eine gewisse Bedürftigkeit für alle Nährstoffe vorlag. Jedoch sind bezüglich des Kalis und des Kalks doch auch viele Ausnahmen vorhanden. Vermutlich hätte sich das Bild bei ausreichender Stickstoffdüngung klarer und eindeutiger gestaltet, d. h. die Bedürftigkeit für alle Nährstoffe schärfer hervortreten lassen. Die Kaliaufnahme z. B. gibt, wie man später sehen wird, hierfür beachtliche Hinweise.

Wie erheblich diese allgemeine Nährstoffbedürftigkeit bei allen Holzarten, also auch bei der als „genügsam“ bekannten Kiefer, gewesen ist, zeigt schließlich eine Gegenüberstellung der Erträge, einerseits der voll gedüngten, andererseits der ganz ungedüngten Pflanzen. Bezogen auf „ungedüngt“ gleich 100 ist der Mehrertrag nach Volldüngung bei Lärche 50, 80, 120, 140%, bei Kiefer doch auch noch 40, 50, 80% und bei Fichte 25% (Basalt) 40, 60, 75%. Daß die sehr nährstoffschwachen Diluvialböden („Kiefernböden“) hier nach Düngung bei Fichte 60—75%, bei Kiefer 80% und bei Lärche 80 bzw. 120% Mehrertrag lieferten, ist noch nicht so auffällig wie die ganz außerordentlich starke Wirkung bei Lößlehm (bei Kiefer 40%, bei Lärche 140% !), die sich bei Lärche in der Hauptsache als Kalkwirkung ausweist.

Der einzige Boden, der ohne jede Dungung bei Fichte und Kiefer schon einen ebenso hohen Ertrag wie bei Volldüngung (ohne Kalk) lieferte, ist der Muschelkalk. Hieraus lassen sich aber keine Schlüsse ziehen und eben auch nicht der Schluß, daß bei diesem Boden keine Nährstoffbedürftigkeit vorliegt. Die Erträge sind nämlich, verglichen mit denen der anderen Böden, abnorm niedrig. Es geht auch nicht an, dies auf Mangel an Stickstoff infolge zu schwacher Düngung zurückzuführen. Die später mitgeteilten Stickstoffwerte der Pflanzen zeigen nämlich, daß gerade bei diesem Boden kein Mangel an N vorhanden war. Es muß also ein anderer Wachstumsfaktor außerhalb des Wasser-Nährstoffkomplexes die Wuchsleistung aller drei Holzarten (am stärksten der Lärche) gehemmt haben. Nach bisherigen Erfahrungen liegt die Annahme nahe, daß die Reaktion des Muschelkalkbodens mit $p_H(KCl) = 7,1$ und $p_H(H_2O) = 7,7$, vielleicht in Verbindung mit der frischen Düngung, die Wuchsleistung so stark gehemmt hat, wie ich das erst kürzlich selbst (1) nachweisen konnte.

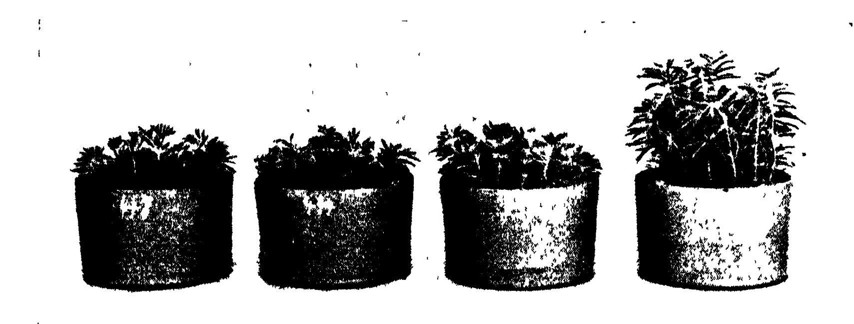
Um dem Leser vielleicht besser als durch die Ertragszahlen ein Bild von dem außerordentlich unterschiedlichen Wachstum der verschieden gedüngten Pflanzen zu vermitteln, ist eine Bildtafel dieser Abhandlung beigegeben. Hier treten die Unterschiede noch krasser hervor als in den Ertragszahlen.

2. Bedürftigkeit für Kali.

Die Lärche lieferte nach Kalidüngung höhere Erträge:

1. in den Reihen ohne Kalk bei den Böden Basalt, Lößlehm, Bausandstein und Tertiärsand,

2. in den Reihen mit Kalk bei den Böden Quarzit, Tertiärsand und zwei Diluvialsanden.



Düngung:			
K, P ohne N	K, N ohne P	P, N ohne K	K, P, N
Ertrag vom Gefäß:			
2,82 g	2,42 g	2,69 g	3,98 g

Bodenart: Bausandstein, ungekalkt.
Holzart: Lärche.

Das Bild ist also vollkommen uneinheitlich; nur der Tertiärsand zeigt in beiden Fällen Kalibedürftigkeit. Hier müssen die später folgenden Werte für die Kaliaufnahme herangezogen werden, um ein besseres Urteil über die Kalifrage zu finden.

Bei der Kiefer zeigt sich, was wichtig erscheinen muß, eine Kalibedürftigkeit in den Reihen ohne Kalk bei den gleichen Böden wie bei Lärche und noch bei „Ebstorf", in den Reihen mit Kalk bei Tonschiefer, Bausandstein (?), Tertiärsand und Ebstorf. Bei Fichte sind es nach Volldüngung ohne Kalk ausgerechnet die besseren Böden Basalt und Tonschiefer, und nach Volldüngung mit Kalk die Böden Tonschiefer, Tertiärsand und Lintzel, die eine mehr oder minder deutliche Kalibedürftigkeit zeigen.

3. Bedürftigkeit für Kalk.

Die Bedürftigkeit kommt zum Ausdruck in einer Wirkung des Kalkes als Nährstoff und in der Wirkung auf die Reaktion des Bodens. Eine Trennung der Teilwirkungen bei der Einschätzung nach

den Ertragsleistungen ist nicht möglich. Die Nährstoffwirkung könnte vielleicht am Kalkgehalt der Pflanzen abgelesen werden, wenn dieser abnorm niedrig ist.

Die Kalkwirkung auf die Reaktion und damit auf die Wuchsleistung der Holzarten kommt bei diesen Versuchen im ganzen zwar wieder gut zum Ausdruck, jedoch sind auch große Unstimmigkeiten vorhanden.

Bei der Lärche ist nur bei zwei Böden, wenn wir vom Muschelkalkboden natürlich absehen, eine Kalkwirkung nicht vorhanden, bei Bausandstein und Diluvialsand Ebstorf. Welche Ursachen dafür vorliegen, ist unklar. Die Reaktionsverhältnisse sind keineswegs günstig, jedoch ist die Menge an Austauschsäure, wie bei leichten Böden üblich, gering. Dies ist aber auch beim Tertiärsand der Fall, in dem die Lärche auf Kalk anspricht. Besonders auffällig und einstweilen unerklärlich ist die sehr starke Wirkung des Kalkes beim Lößlehm.

Tabelle 5.

Reaktions- und Säureverhältnisse in den Gefäßböden nach der Ernte.

Boden	Düngung	Aktive Azidität pH (H_2O)	Austauschazidität	
			pH (KCl)	ccm n/10 NaOH je 100 g Boden
Tonschiefer	Volldüngung ohne Kalk	4,6 4,5	3,6 3,7	26,4 26,4
	Volldüngung mit Kalk	5,7 5,6	4,7 4,7	2,3 1,8
Lößlehm	Volldüngung ohne Kalk	4,5 4,5	3,9 3,9	31,3 24,3
	Volldüngung mit Kalk	5,6 5,5	4,5 4,5	4,0 4,0
Quarzit	Volldüngung ohne Kalk	4,4 4,3	3,7 3,7	29,4 33,0
	Volldüngung mit Kalk	5,3 5,3	4,4 4,3	6,5 5,0
Bausandstein	Volldüngung ohne Kalk	4,1 4,4	3,8 3,8	21,2 24,2
	Volldüngung mit Kalk	5,6 5,4	4,7 4,6	3,0 2,0
Tertiärer Sand	Volldüngung ohne Kalk	4,4 4,3	4,1 4,1	17,1 17,7
	Volldüngung mit Kalk	5,6 5,7	4,6 4,5	2,6 2,6
Diluvialsand Ebstdorf	Volldüngung ohne Kalk	4,3 4,3	3,7 3,6	17,6 17,4
	Volldüngung mit Kalk	5,6 5,4	4,7 4,6	4,0 4,5
Diluvialsand Lintzel	Volldüngung ohne Kalk	4,7 4,7	4,1 4,1	17,1 15,3
	Volldüngung mit Kalk	5,6 5,5	4,8 4,8	4,3 3,8

Die Kiefer zeigt einen Mehrertrag nach Kalkung und in den zu vergleichenden Volldüngungsreihen bei den Böden: Tonschiefer, Lößlehm, Quarzit, Bausandstein und Tertiärsand in wechselndem und oft nicht eindeutigem Maße. Die Diluvialsande fallen hier beide aus.

Bei der Fichte ist eine Wirkung vorhanden bei Lößlehm, Quarzit, Tertiärsand und beiden Diluvialsanden. Es fallen aus: Tonschiefer und, wie bei Lärche, Bausandstein.

Das Bild ist also uneinheitlich. Bei allen Holzarten ist eine Kalkwirkung vorhanden in den Böden: Lößlehm, Quarzit und Tertiärsand, bei zwei Holzarten in den Böden: Tonschiefer und Lintzel, bei einer Holzart im Bausandstein (Kiefer) und Diluvialsand Ebstorf (Fichte).

Zur etwaigen Klärung sind die Gefäßböden einiger Reihen nach Abschluß der Vegetation und Ernte auf ihre Säureverhältnisse erneut untersucht. Es wäre immerhin möglich, daß durch die Kalkung der optimale Reaktionsgrad von $p_H(KCl) = 5$ nicht erreicht oder infolge der Wirkung der Dungesalze wieder nach der sauren Seite hin verändert wurde. Es wurden einige Gefäße der beiden Reihen Volldüngung mit und ohne Kalk ausgewählt.

Aus Tabelle 5, in der die Ergebnisse für je zwei Gefäße mit verschiedenen Holzarten angeführt sind, ist ersichtlich, daß die Menge der Austauschsäure etwa infolge der Düngung ohne Kalk, meist nicht oder — bei Quarzit und Lößlehm — unwesentlich verändert ist. Auch der Säuregrad ist kaum verändert. Die gekalkten Böden haben den anfänglich durch Kalkzugabe eingestellten Reaktionsgrad von $p_H(KCl) = 5$ nicht behalten, sie sind um einige Zehntel der p_H-Stufe saurer geworden, Lößlehm, Tertiärsand und Quarzit sogar um etwa eine halbe Stufe oder noch etwas mehr. Da die Böden an sich alle nicht sehr sauer sind, ist der Unterschied zwischen ungekalkt und gekalkt hinsichtlich Reaktion nun schon nicht mehr sehr groß. Eine Erklärung für die nicht immer klar hervortretende Wirkung der Kalkung könnte mit Rücksicht auf diese Reaktionsverhältnisse der Böden in den Ergebnissen meiner früheren Versuche (1) gefunden werden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die nachteilige Wirkung einer nicht optimalen Reaktion des Bodens durch gute und gleichmäßige Ernährung mit allen Nährstoffen ausgeglichen wird. Diese günstige Wirkung der Volldüngung (K, P, N) kann hier in den ungekalkten Reihen in gesteigerten Erträgen zum Ausdruck gekommen sein. In den gekalkten Reihen können die Erträge umgekehrt herabgesetzt sein durch die Gegensätzlichkeit Kalk-Kali, die, wie ich später nachweisen kann, vorhanden war. In der Tat ist (vgl. Tab. 11) die Herabsetzung der Kaliaufnahme (in Gehalt und Menge zum Ausdruck kommend) infolge Kalkung ganz besonders in der Reihe der absoluten Volldüngung (Ca, K, P, N) und gerade bei den Böden relativ stark, bei denen die Kalkwirkung kaum oder nicht vorhanden ist.

Das Vorliegen dieser beiden Erscheinungen, ausgleichende Wirkung der Volldüngung beim ungekalkten, sauren Boden und Kalk-Kali-Gegensätzlichkeit beim gekalkten Boden kann die schwache oder fehlende Wirkung des Kalkes erklären.

4. Bedürftigkeit für Phosphorsäure.

Die Prüfung erstreckte sich aus äußeren Gründen nur auf die Versuchsreihen ohne Kalk. Die Bedürftigkeit ist ganz eindeutig bei allen Böden und bei beiden Holzarten, Lärche und Kiefer, in oft stärkstem Maße vorhanden. Selbst bei dem aus angegebenen Gründen außer Betracht bleibenden Muschelkalk ist eine Phosphorsäurebedürftigkeit erkennbar.

Die Bedürftigkeit ist namentlich bei Lärche, die wieder schärfer anspricht als die Kiefer, bei den meisten Böden so stark, daß in der Reihe Volldüngung ohne Phosphorsäure die Erträge kaum höher oder nur so hoch sind wie in der Reihe ungedüngt.

5. Bedürftigkeit für Stickstoff.

Auch hier ist nur die Versuchsserie ohne Kalk vertreten. Der Boden Muschelkalk bleibt wieder unberücksichtigt.

Nur ein Boden, der Tonschiefer, zeigt keinen Stickstoffmangel an oder bei Kiefer nur undeutlich. Alle anderen Böden lassen bei beiden Holzarten deutliche oder stärkste Bedürftigkeit für Stickstoff erkennen. Die Kiefer spricht bei fast allen Böden auf Stickstoffmangel wesentlich stärker an als die Lärche.

Unterschiede zwischen den einzelnen Böden sind derart vorhanden, daß die leichten Böden den Stickstoffmangel am schärfsten zeigen.

II. Nährstoffaufnahme.

Die Kalibestimmungen wurden in jeder Ernte eines Gefäßes getrennt ausgeführt. Die Kalk-, Phosphorsäure- und Stickstoffbestimmungen wurden in restlichen Mischproben von je 3 Parallelgefäßen ausgeführt. Nur bei Stickstoff und nur bei einigen Reihen mußte hier mangels Material auf Ausführung von Doppelbestimmungen verzichtet werden.

Die Übereinstimmung der Parallelwerte war meist sehr gut. In nicht sehr häufigen Fällen war die Übereinstimmung nur befriedigend. Um ein Urteil zu vermitteln, was ich nur befriedigend nenne, seien einige solche Zahlen angeführt.

	g Trocken-Sub.	% K_2O	mg K_2O	abgekürzter Mittelwert in den Tabellen
Lößlehm, drei Parallelgefäße	2,83 3,03 2,45	0,67 0,64 0,79	19,0 19,4 19,4	18[1])
Basalt, drei Parallelgefäße	4,40 4,55 4,05	1,08 1,02 1,23	47,5 46,4 49,8	47[1])

Tabelle 6.
Nährstoffaufnahme der Lärche aus den Böden: Muschelkalk, Basalt, Tonschiefer, Lößlehm und Quarzit.

Boden	Kalkung	Düngung	Trockensubstanz	Im Mittel von drei Gefäßen							
				Kali		Kalk		Phosphorsäure		Stickstoff	
			g	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
Muschelkalk	ohne	ungedüngt	1,0	1,55	14	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	1,6	1,68	25	—	—	—	—	—	—
		ohne K	1,9	1,51	27	—	—	—	—	—	—
		ohne P	1,5	—	—	—	—	0,47	4	—	—
		ohne N	2,0	-	—	—	—	—	—	1,79	31
Basalt	ohne	ungedüngt	4,6	0,39	16	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	7,0	0,61	41[1])	0,57	40[1])	0,35	22[1])	1,39	92[1])
		ohne K	6,1	0,36	20	—	—	—	—	—	—
		ohne P	4,3	—	—	—	—	0,32	11	—	—
		ohne N	6,2	—	—	—	—	—	—	0,84	47
Tonschiefer	ohne	ungedüngt	3,3	0,82	26	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	5,1	0,75	36	0,61	31	0,33	14	1,57	74
		ohne K	5,1	0,64	31	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,3	—	—	—	—	0,19	3	—	-
		ohne N	5,1	—	—	—	—	—	—	0,97	45
	mit	Volldüngung	5,6	0,84	46	0,88	50	0,34	16	—	—
		ohne K	6,1	0,58	34	—	—	—	—	—	—
Lößlehm	ohne	ungedüngt	1,8	0,86	14	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	2,7	1,02	25	0,84	22	0,35	6	1,69	40
		ohne K	2,3	0,74	15	—	—	—	—	—	—
		ohne P	2,1	—	—	—	—	0,18	1	—	—
		ohne N	2,4	—	—	—	—	—	—	1,07	21
	mit	Volldüngung	4,4	0,72	32	0,71	31	0,31	11	—	—
		ohne K	4,4	0,35	14	—	—	—	—	—	—
Quarzit	ohne	ungedüngt	1,8	1,02	17	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	2,8	1,46	39	0,75	21	0,33	6	0,99	23
		ohne K	3,0	0,82	15	—	—	—	—	—	—
		ohne P	2,1	—	—	—	—	0,15	0	—	—
		ohne N	2,6	—	—	—	—	—	—	0,74	14
	mit	Volldüngung	4,1	0,94	37	1,27	52	0,46	16	—	—
		ohne K	3,7	0,54	18	—	—	—	—	—	—

[1]) Alle Ertragswerte unter Abzug der in den Samen bereits enthaltenen Nährstoffmengen.

In solchen Fällen tritt, wie in den Beispielen, bezüglich der Kaliernten je Gefäß oft noch ein Ausgleich ein, insofern als Pflanzen mit höherem Nährstoffgehalt eine geringere Trockensubstanzleistung zeigen als die Pflanzen der anderen Parallelgefäße.

Mangelhafte Übereinstimmung ist fast nur bei den Ernten von Muschelkalkboden, und auch nur bei Lärche und Fichte, vorhanden. Hier sind aber die erwähnten Wuchsstörungen im Spiel.

Da im übrigen die Unterschiede hinsichtlich Nährstoffgehalt und Nährstoffmenge je Gefäß zwischen den verschiedenen Düngungsreihen meist groß sind, ist die Zuverlässigkeit der Ergebnisse recht gut.

1. Kaliaufnahme.

a) Lärche.

Der Kaligehalt der ungedüngten Pflanzen ist bei fast allen Böden durchschnittlich gleich und normal hoch. Ausnahmen betreffen die Böden Basalt, Tertiärsand und Ebstorf (der Muschelkalk bleibt im folgenden fast immer außer Betracht). Bei den drei Böden ist der Gehalt doch schon so wesentlich geringer, daß darin keine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Kali zum Ausdruck kommt.

Die aus dem ungedüngten Boden entnommene Kalimenge bewegt sich bei 6 Böden zwischen 11 und 17 mg je Gefäß. Der Tertiärsand lieferte nur 7 mg, der Tonschiefer die größte Menge

Tabelle 7.

Nährstoffaufnahme der Lärche aus den Böden: Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel.

Boden	Kalkung	Düngung	Trockensubstanz	Im Mittel von drei Gefäßen							
				Kali		Kalk		Phosphorsäure		Stickstoff	
			g	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
Bausand	ohne	ungedüngt	2,0	0,68	13	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	3,5	1,05	35[1])	0,68	24[1])	0,25	6[1])	0,99	29[1])
		ohne K	3,0	0,50	13	—	—	—	—	—	—
		ohne P	2,2	—	—	—	—	0,20	1	—	—
		ohne N	2,8	—	—	—	—	—	—	0,44	8
	mit	Volldüngung	3,6	0,75	27	0,94	34	0,54	17	—	—
		ohne K	3,8	0,36	12	—	—	—	—	—	—
Tertiärsand	ohne	ungedüngt	2,3	0,38	7	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	3,8	0,91	33	0,64	24	0,26	7	0,93	30
		ohne K	3,1	0,35	9	—	—	—	—	—	—
		ohne P	1,6	—	—	—	—	0,23	1	—	—
		ohne N	2,9	—	—	—	—	—	—	0,68	14
	mit	Volldüngung	4,4	0,68	30	0,84	37	0,29	10	—	—
		ohne K	3,5	0,26	8	—	—	—	—	—	—
Diluvialsand Ebstorf	ohne	ungedüngt	2,6	0,47	11	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	4,8	0,90	41	0,75	36	0,42	17	0,89	37
		ohne K	4,7	0,21	8	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,2	—	—	—	—	0,28	6	—	—
		ohne N	2,7	—	—	—	—	—	—	0,61	12
	mit	Volldüngung	4,8	0,78	36	0,97	46	0,47	20	—	—
		ohne K	4,3	0,24	9	—	—	—	—	—	—
Diluvialsand Lintzel	ohne	ungedüngt	2,1	0,73	14	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	4,0	1,06	41	0,70	28	0,25	7	1,00	35
		ohne K	4,3	0,38	15	—	—	—	—	—	—
		ohne P	2,1	—	—	—	—	0,16	0	—	—
		ohne N	3,0	—	—	—	—	—	—	0,58	13
	mit	Volldüngung	4,7	0,73	34	0,87	41	0,22	7	—	—
		ohne K	4,4	0,27	10	—	—	—	—	—	—

[1]) Alle Ertragswerte unter Abzug der in den Samen bereits enthaltenen Nährstoffmengen.

(26 mg). Diese Zahlen nun werden erst wichtig, wenn man sie mit den Zahlen aus der Reihe „Volldüngung ohne Kali“ vergleicht. Hier war die Ernährung mit Phosphorsäure und Stickstoff infolge Düngung, wenn nicht optimal, so doch sehr günstig gestellt. Dadurch kann gegenüber „ungedüngt“ auch die Kaliaufnahme aus dem Boden größer werden, sofern der Boden aus sich heraus dazu die Möglichkeit bietet.

Hierbei zeigt sich nun, daß bei 6 von 8 Böden die in allen Fällen wesentlich stärker wachsenden Pflanzen der Reihe „ohne Kali“ nicht mehr Kali aus dem Boden entnehmen konnten als aus dem ungedüngten Boden. Diese Böden zeigen dadurch eine ausgesprochene „Kalischwäche“. Sie zeigt sich auch darin, daß der Gehalt der Pflanzen gegenüber „ungedüngt“ in allen Fällen und z. T. erheblich erniedrigt ist. Im Falle Ebstorf ist sogar nur noch ein Kaligehalt von 0,21% vorhanden. Es ist dies so ungefähr der niedrigste Gehalt, den ich bei meinen zahlreichen Untersuchungen in einjährigen Hölzern gefunden habe.

Zwei Böden zeigen diese Kalibedürftigkeit nicht ausgesprochen. Basalt und Tonschiefer, als sogenannte „bessere“ oder „gute“ Waldböden, lieferten infolge Beidüngung mit den anderen Nährstoffen immerhin noch 4 bzw. 5 mg Kali mehr. Aber auch hier ist der Kaligehalt in der Reihe „ohne Kali“ bereits herabgesetzt, bei Tonschiefer bedeutend, bei Basalt kaum, weil er hier schon ohne Düngung recht niedrig ist. Diese Erniedrigung des Kaligehaltes ist ein Signal, daß die Anlieferung dieses Stoffes nicht mehr leicht erfolgte.

Sinngemäß ist nun die Wirkung der Kalibeidüngung in Verbindung mit den anderen Nährstoffen. In der Reihe „Volldüngung“ (zunächst immer „ohne Kalk“) ist bei allen Böden (geringwertige Ausnahme: Tonschiefer — und nur bei Lärche —) der Kaligehalt am höchsten und meist erheblich höher als in den ungedüngten Pflanzen. Entsprechend ist bei gleichzeitig höherer Ernte gegenüber „ungedüngt“ die Kalimenge die höchste. Dies gilt ausgesprochen auch für Basalt, weniger für Tonschiefer.

Die Kalkung hat in guter Bestätigung unserer früheren Versuche (1, 2) fast immer (Ausnahmen: Tonschiefer-Volldüngung + 0,09% und Lintzel — ohne Kali + 0,03%) den Kaligehalt der Lärche erheblich herabgesetzt, sehr stark bei Volldüngung, weniger bei Volldüngung ohne Kali, weil hier schon ohne Kalkung infolge Wuchsbegünstigung durch Beidüngung (P, N) und wegen starker Kalischwäche der Böden der Kaligehalt bedeutend herabgesetzt war.

Die aufgenommene Kalimenge ist in den Reihen „ohne Kali“ infolge Kalkung kaum erniedrigt oder gar etwas erhöht. Jedoch ist das in der Düngung gegebene Kali (Volldüngung) durch den Kalk in manchen Fällen doch deutlich in geringerer Menge aufgenommen. Diese Erschwerung der Kaliaufnahme ist nicht vorhanden bei den Böden: Tonschiefer und Löß. Der Tonschiefer hat offenbar wohl bei seinem noch hohen Gehalt an aktiven Basen ganz andere Absorptionsverhältnisse im absorbierenden Bodenkomplex, und

der Löß zeigt die schon genannte, unerklärlich starke Wirkung des Kalkes auf die Wuchsleistung. Der Kaligehalt ist beim Tonschiefer nicht (+ 0,09%), beim Lößlehm dagegen um volle 0,3% herabgesetzt (Volldüngung ohne Kalk gegenüber Volldüngung mit Kalk).

Aus diesen Betrachtungen über die Kalkwirkung ergibt sich, daß die von uns gegebene Kalidüngung zu schwach war, um die Gegenwirkung Kalk-Kali voll auszugleichen. Unsere Düngung von 40 mg K_2O für etwa 500 g Boden entspricht dabei unter Umrechnung auf 10 cm Bodentiefe, in welcher Schicht das Kali zunächst nur zur Wirkung kommen dürfte, je ha einer Menge von etwa 90 kg.

Tabelle 8.

Nährstoffaufnahme der Kiefer aus den Böden: Muschelkalk, Basalt, Tonschiefer, Lößlehm und Quarzit.

Boden	Kalkung	Düngung	Trockensubstanz	Im Mittel von drei Gefäßen							
				Kali		Kalk		Phosphorsäure		Stickstoff	
			g	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
Muschelkalk	ohne	ungedüngt	3,9	0,81	31	—	—	—	—	—	59[1])
		Volldüngung	3,7	1,15	42[1])	2,34	87[1])	0,70	21[1])	1,87	—
		ohne K	3,9	0,93	35	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,4	—	—	—	—	0,45	10	—	—
		ohne N	3,5	—	—	—	—	—	—	1,39	38
Basalt	ohne	ungedüngt	4,3	0,27	11	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	6,0	0,57	33	0,84	50	0,66	34	1,60	84
		ohne K	5,6	0,27	14	—	—	—	—	—	—
		ohne P	4,6	—	—	—	—	0,37	12	—	—
		ohne N	5,4	—	—	—	—	—	—	1,47	69
Tonschiefer	ohne	ungedüngt	4,5	1,24	55	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	5,5	1,29	70	0,64	35	0,39	16	1,35	63
		ohne K	6,0	1,03	61	—	—	—	—	—	—
		ohne P	5,2	—	—	—	—	0,25	8	—	—
		ohne N	5,2	—	—	—	—	—	—	0,95	38
	mit	Volldüngung	6,3	1,07	66	1,05	66	0,39	19	—	—
		ohne K	5,5	1,01	55	—	—	—	—	—	—
Lößlehm	ohne	ungedüngt	3,4	0,52	16	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	4,6	0,79	35	0,76	35	0,36	11	1,27	48
		ohne K	4,3	0,46	19	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,4	—	—	—	—	0,21	2	—	—
		ohne N	3,7	—	—	—	—	—	—	1,33	38
	mit	Volldüngung	4,8	0,66	31	0,95	46	0,37	13	—	—
		ohne K	4,9	0,27	12	—	—	—	—	—	—
Quarzit	ohne	ungedüngt	3,0	1,14	33	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	3,7	1,39	50	0,83	31	0,52	14	1,56	47
		ohne K	4,2	0,79	32	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,1	—	—	—	—	0,27	3	—	—
		ohne N	3,0	—	—	—	—	—	—	1,11	22
	mit	Volldüngung	4,1	1,14	46	1,31	54	0,40	12	—	—
		ohne K	4,3	0,75	31	—	—	—	—	—	—

[1]) Alle Ertragswerte unter Abzug der in den Samen bereits enthaltenen Nährstoffmengen.

b) Kiefer.

Die Kiefer verhält sich bei der Kaliaufnahme fast genau so wie die Lärche. Unterschiede sind nur gradweise vorhanden.

Der Kaligehalt der ungedüngten Pflanzen ist durchschnittlich normal. Abweichungen genau wie bei Lärche, d. h. bei den gleichen Böden. Einen recht hohen Gehalt haben die Pflanzen bei den offenbar etwas kalireicheren Böden: Tonschiefer und Quarzit (letzteres auch bei Lärche), einen sehr niedrigen Gehalt bei Basalt und Tertiärsand.

Die aus dem ungedüngten Boden aufgenommene Kalimenge beträgt weniger als 20 mg bei den Böden: Basalt, Lößlehm, Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel, d. h. bei den gleichen Böden wie bei Lärche. Unterschiede gegenüber letzterer Holzart: noch schwächere Aufnahme aus Basalt, aber wesentlich stärkere Entnahme aus Quarzit (33 mg bei Kiefer, 17 mg bei Lärche).

Verhalten der Kiefer gegenüber Volldüngung ohne Kali (ohne Kalk) ebenso wie Lärche. Der Kaligehalt ist bei allen Böden gegenuber ungedüngt meistens sogar erheblich erniedrigt, mit Ausnahme von Basalt, bei dem aber die ungedüngte Kiefer schon einen abnorm niedrigen Gehalt von 0,27% hat. Beim Tertiärsand sinkt der Gehalt auf 0,15%! Also kündigt auch die Kiefer eine mehr oder minder starke Kalischwäche aller Böden durch dieses Verhalten an.

Die aufgenommene Kalimenge nach Volldungung ohne Kali ist, wie bei Lärche, nicht erhöht (gegen „ungedüngt") bei den Böden: Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel.

Bei den Böden Basalt, Tonschiefer und Lößlehm schwache Erhöhung der Kaliaufnahme, nicht anders als bei Larche. Muschelkalk verhält sich ubrigens bei beiden Holzarten ebenso.

Entsprechend diesen Erscheinungen tritt die Kalidüngung in der Volldüngung scharf hervor. Der Gehalt der Kiefer ist in allen Fällen stark erhöht und ähnlich hoch wie bei Lärche. Nicht anders ist es mit der aufgenommenen Kalimenge.

Kiefer und Lärche unterscheiden sich insofern, als die Kiefer in mehreren Fällen größere Kalimengen dem Boden entzogen hat, besonders auffallend bei Tonschiefer und Quarzit. Aus Basalt entnahm die Kiefer wesentlich weniger Kali. Doch kann man nicht sagen, daß dieser Boden, etwa als schwerer Lehmboden, der Kiefer nicht zusagte, denn die Massenerträge aus Basalt sind neben denen aus Tonschiefer die höchsten von allen.

Auch die Kalkung hat bei der Kiefer ebenso gewirkt wie bei der Lärche. Herabsetzung des Kaligehaltes, stärker bei absoluter Volldüngung, schwächer bei Volldüngung ohne Kali, in gleicher Abstufung Minderung der aufgenommenen Kalimenge.

Eine Abweichung ist nur bei den Böden Tonschiefer und Lößlehm vorhanden. Die Lärche zeigt hier bei Volldüngung noch eine merkliche Zunahme der Kaliaufnahme nach Kalkung, die Kiefer eine Abnahme. Beim Lößlehm hängt dies offenbar mit der unerklärlich günstigen und starken Kalkwirkung auf die Lärche zusammen.

Tabelle 9.

Nährstoffaufnahme der Kiefer aus den Böden: Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel.

Boden	Kalkung	Düngung	Trockensubstanz	Im Mittel von drei Gefäßen							
				Kali		Kalk		Phosphorsäure		Stickstoff	
			g	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
Bausandstein	ohne	ungedüngt	2,8	0,62	16	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	3,7	0,97	35[1]	0,91	34[1]	0,31	6[1]	1,67	50[1]
		ohne K	3,3	0,47	15	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,2	—	—	—	—	0,18	1	—	—
		ohne N	3,0	—	—	—	—	—	—	0,86	15
	mit	Volldüngung	4,3	0,76	32	1,23	53	0,30	8	—	—
		ohne K	4,1	0,34	13	—	—	—	—	—	—
Tertiärsand	ohne	ungedüngt	3,4	0,25	8	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	4,8	0,76	35	0,66	31	0,43	15	1,04	38
		ohne K	4,1	0,15	5	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,6	—	—	—	—	0,17	1	—	—
		ohne N	3,1	—	—	—	—	—	—	1,01	20
	mit	Volldüngung	5,1	0,57	28	1,26	63	0,27	8	—	—
		ohne K	4,0	0,23	8	—	—	—	—	—	—
Diluvialsand Ebstorf	ohne	ungedüngt	2,7	0,55	14	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	5,0	0,93	46	0,75	38	0,48	19	1,05	42
		ohne K	4,6	0,33	14	—	—	—	—	—	—
		ohne P	4,2	—	—	—	—	0,35	10	—	—
		ohne N	2,6	—	—	—	—	—	—	1,04	16
	mit	Volldüngung	4,8	0,90	42	1,39	66	0,49	18	—	—
		ohne K	4,4	0,38	16	—	—	—	—	—	—
Diluvialsand Lintzel	ohne	ungedüngt	2,4	0,70	16	—	—	—	—	—	—
		Volldüngung	4,3	1,14	48	0,64	27	0,43	13	1,23	42
		ohne K	4,3	0,40	16	—	—	—	—	—	—
		ohne P	3,0	—	—	—	—	0,18	0,4	—	—
		ohne N	2,5	—	—	—	—	—	—	1,09	17
	mit	Volldüngung	4,3	0,89	37	1,26	54	0,36	10	—	—
		ohne K	4,2	0,33	13	—	—	—	—	—	—

[1]) Alle Ertragswerte unter Abzug der in dem Samen bereits enthaltenen Nährstoffmengen.

c) Fichte.

Der Kaligehalt der ungedüngten Pflanzen ist noch stärker ausgeglichen als bei Kiefer. Nur beim Tertiärboden ist ein nicht mehr als normal anzusprechender, niedriger Gehalt von 0,33% vorhanden. Besonders hoch ist der Gehalt, genau wie bei Kiefer, und bezüglich Quarzit auch bei Lärche, bei den Böden Tonschiefer und Quarzit.

Die aufgenommene Kalimenge in der Reihe „ungedüngt" ist noch etwas höher als bei Kiefer. Aber fünf Böden lieferten auch weniger als 20 mg Kali je Gefäß, nämlich: Lößlehm, Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel. Es sind die gleichen Böden wie bei Lärche und Kiefer; nur der Basalt lieferte in Verbindung mit

Tabelle 10.
Nährstoffaufnahme der Fichte.

Boden	Kalkung	Düngung	Trocken-Substanz g	Im Mittel von drei Gefäßen: Kali %	Kali mg	Stickstoff %	Stickstoff mg
Muschelkalk	ohne	ungedüngt	3,1	1,16	35*)	1,86	47*)
		Volldüngung	3,1	1,36	41	2,13	56
		ohne K	3,1	1,24	38	2,07	54
Basalt	ohne	ungedüngt	3,4	0,72	23	2,08	60
		Volldüngung	4,3	1,11	47	2,16	84
		ohne K	4,1	0,71	28	2,34	86
Tonschiefer	ohne	ungedüngt	3,9	1,09	42	1,50	49
		Volldüngung	5,5	1,13	61	1,47	70
		ohne K	5,2	1,14	58	1,68	76
	mit	Volldüngung	5,4	1,20	64	1,61	78
		ohne K	4,9	1,06	51	2,00	87
Lößlehm	ohne	ungedüngt	2,8	0,70	18	1,51	32
		Volldüngung	3,0	1,07	30	1,74	42
		ohne K	3,1	0,67	20	1,52	37
	mit	Volldüngung	3,7	0,90	32	1,86	58
		ohne K	4,0	0,48	18	1,52	51
Quarzit	ohne	ungedüngt	2,7	1,11	29	1,19	22
		Volldüngung	3,6	1,42	50	1,29	37
		ohne K	3,7	0,99	35	1,49	44
	mit	Volldüngung	4,3	1,07	45	1,26	44
		ohne K	4,2	0,78	32	1,36	47
Bausandstein	ohne	ungedüngt	2,4	0,78	18	0,90	12
		Volldüngung	3,6	1,05	37	1,37	39
		ohne K	3,4	0,64	21	1,41	37
	mit	Volldüngung	3,5	1,01	34	1,44	40
		ohne K	3,4	0,51	16	1,44	38
Tertiärsand	ohne	ungedüngt	3,2	0,33	10	0,97	21
		Volldüngung	3,6	1,01	36	1,13	31
		ohne K	3,8	0,33	12	1,21	36
	mit	Volldüngung	4,6	0,79	35	1,02	37
		ohne K	3,6	0,32	11	1,32	38
Diluvialsand Ebstorf	ohne	ungedüngt	2,9	0,65	18	0,84	14
		Volldüngung	4,7	1,04	47	0,98	36
		ohne K	4,6	0,43	19	1,03	37
	mit	Volldüngung	5,1	0,86	43	1,04	43
		ohne K	4,9	0,36	17	1,07	42
Diluvialsand Lintzel	ohne	ungedüngt	2,8	0,62	16	0,92	16
		Volldüngung	4,1	1,09	44	1,22	40
		ohne K	4,1	0,44	17	1,23	41
	mit	Volldüngung	4,6	0,93	42	1,10	41
		ohne K	4,1	0,38	15	1,17	38

*) Alle Ertragswerte unter Abzug der in den Samen bereits enthaltenen Nährstoffe.

Fichte etwas über 20 mg (23 mg) und der Quarzit, ebenso wie bei Kiefer, recht erheblich mehr (29 mg).

Die Beidüngung mit Phosphorsäure und Stickstoff (Reihen „ohne Kali") hat im Gegensatz zu Kiefer und Lärche bei Fichte eine schwächere Herabsetzung des Kaligehaltes zur Folge gehabt. Nur bei den Böden Ebstorf und Lintzel ist eine starke, und bei den Böden Quarzit und Bausandstein eine mäßige Erniedrigung des Gehaltes eingetreten.

Die in diesen Reihen aufgenommene Kalimenge ist, durchaus entsprechend den nur mäßigen Gehaltserniedrigungen, bei allen Böden gleich hoch oder etwas höher als bei „ungedüngt". Deutlich

Tabelle 11.

Verhalten der Holzarten gegenüber der Wirkung des Kalkes auf die Kaliaufnahme. Mehr (+) oder weniger (—) an Kali in den Pflanzen der gekalkten Reihen, verglichen mit den entsprechenden ungekalkten Reihen.

Boden	Kaligehalt						Kalimenge					
	Volldüngung			Volldüngung ohne Kali			Volldüngung			Volldüngung ohne Kali		
	Lä.	Ki.	Fi.	Lä.	Ki.	Fi.	Lä.	Ki.	Fi.	Lä.	Ki.	Fi.
Tonschiefer	+ 0,09	— 0,22	+ 0,07	— 0,06	— 0,02	— 0,08	+ 10	— 4	+ 3	+ 3	— 6	— 7
Lößlehm	— 0,30	— 0,13	— 0,17	— 0,39	— 0,19	— 0,19	+ 7	— 4	+ 2	— 1	— 7	— 2
Quarzit	— 0,52	— 0,25	— 0,35	— 0,28	— 0,04	— 0,21	— 2	— 4	— 5	+ 3	— 1	— 3
Bausandstein	— 0,30	— 0,21	— 0,04	— 0,14	— 0,13	— 0,13	— 8	— 3	— 3	— 1	— 2	— 5
Tertiärsand	— 0,23	— 0,19	— 0,22	— 0,09	+ 0,08	— 0,01	— 3	— 7	— 1	— 1	+ 3	— 1
Ebstorf	— 0,22	— 0,03	— 0,18	+ 0,03	+ 0,05	— 0,07	— 5	— 4	— 4	+ 1	+ 2	— 2
Lintzel	— 0,33	— 0,25	— 0,16	— 0,11	— 0,07	— 0,06	— 7	— 11	— 2	— 5	— 3	— 2

ist die stärkere Kaliaufnahme aber nur bei den Boden Basalt, Tonschiefer und auch Quarzit. Das Verhalten der Fichte weicht also in dieser Hinsicht nur gradweise von den Erscheinungen bei Lärche und Kiefer ab.

Aus allen besprochenen Erscheinungen darf man vorläufig, und wegen des noch nicht sehr umfangreichen Versuchsmaterials nicht mit Sicherheit, ablesen, daß die Fichte wohl das stärkste Kalianeignungsvermögen hat. Es folgen in der Reihe: Kiefer und Lärche (mit dem kleinsten Aneignungsvermögen).

Ungeachtet dieses größeren Aneignungsvermögens hat die Fichte auf die Kalidüngung (Reihen: Volldüngung, verglichen mit „Volldüngung ohne Kali") fast ebenso stark und bei den verschiedenen Böden gleichsinnig angesprochen wie Kiefer und Lärche. Dies tritt sowohl in der Erhöhung des Kaligehaltes als auch besonders in der Mehraufnahme von Kali nach Volldüngung hervor.

Bezüglich der Wirkung des Kalkes auf die Kaliaufnahme kann die Zusammenstellung in Tabelle 11 herangezogen werden, die auch eine Gegenüberstellung des Verhaltens aller Holzarten bringt.

Hinsichtlich der Herabsetzung des Kaligehaltes infolge Volldüngung mit Kalk verhält sich die Fichte ebenso wie die anderen Holzarten. Die Herabsetzung des Gehaltes ist sogar ähnlich stark wie bei Lärche und bei manchen Böden stärker als bei Kiefer. Bei Volldüngung ohne Kali ist meist das Verhalten der Fichte so wie

Tabelle 12.
Ausnutzung des Düngerkalis.

Boden	(Mehrertrag (mg K_2O nach Volldüngung gegenüber Volldüngung ohne Kali					
	ohne Kalk			mit Kalk		
	Lärche	Kiefer	Fichte	Lärche	Kiefer	Fichte
Tonschiefer	5	9	3	12	11	13
Lößlehm	10	16	10	18	19	13
Basalt	21	19	19	—	—	—
Quarzit	24	18	15	19	15	13
Bausandstein	22	20	16	15	19	18
Tertiärsand	24	30	24	22	20	24
Ebstorf	33	32	28	27	26	26
Lintzel	26	32	27	24	24	27

das der anderen Hölzer, d. h. die Gehaltserniedrigung ist vorhanden, aber nicht so hoch wie in der Volldüngungsreihe. Eine Ausnahme macht hier einmal der Bausandstein, dann der Lößlehm, bei dem sogar alle drei Holzarten umgekehrt, in der Reihe „ohne Kali“, eine stärkere Herabsetzung des Gehaltes erfahren haben.

Die Herabsetzung der aufgenommenen Kalimenge findet sich bei Fichte ebenso eindeutig wie bei den anderen Hölzern, namentlich Lärche, auch mit ähnlichen Ausnahmen bei den gleichen Böden Tonschiefer und Lößlehm.

Die Ausnutzung des in der Düngung gegebenen Kalis ist bei den Böden sehr unterschiedlich. Die Holzarten dagegen verhalten sich wieder in hohem Maße gleich (vgl. Tab. 12).

In den Reihen „ohne Kalk“ ist bei allen Holzarten die schlechteste Ausnutzung beim Tonschiefer vorhanden, zweifellos deshalb, weil das Bodenkali hier den Pflanzen reichlicher zur Verfügung stand. Nicht viel besser ist die Ausnutzung beim Lößlehm und bei Lärche und Fichte, die beide aber auch aus unbekannten Gründen besonders niedrige Erträge in den fraglichen Reihen haben.

Eine mittlere Ausnutzung, die aber bis 50% des Düngerkalis und darüber hinaus geht, ist bei den Böden: Basalt, Quarzit und Bausandstein und eine hohe, bei der bis 75% und mehr des Düngerkalis von den Holzarten aufgenommen wurde, bei den Böden Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel vorhanden.

Die Kalkung hat die Kaliausnutzung verbessert bei den Böden Tonschiefer und Lößlehm, bei letzterem durch besonders starke Begünstigung des Wachstums, namentlich der Lärche. Bei allen anderen Böden ist (mit nur einer Ausnahme) bei allen Holzarten eine mehr oder minder starke, aber nur in zwei Fällen besonders große Verschlechterung der Kaliausnutzung entsprechend der Gegenwirkung Kalk-Kali eingetreten.

Zusammenfassend kann folgendes zur Kalibedürftigkeit der geprüften Böden gesagt werden:

Diese Nährstoffbedürftigkeit kommt in den Erträgen an Trockensubstanz nur bei wenigen Böden zum Vorschein. Bei mehreren

Böden sind die Erträge der fraglichen Vergleichsreihen gleich hoch oder sogar höher in der Reihe „ohne Kali“.

In dem Kaligehalt und in den aus Boden oder Düngung entnommenen Kalimengen dagegen zeigt sich recht deutlich die mehr oder minder große „Kalischwäche“ der Böden. Dies erkennt man sowohl bei einer Auswertung des Versuches mit ungedüngtem Boden, als auch bei einem Vergleich der Zahlen dieses Einzelversuches mit denen der Reihe „Volldüngung ohne Kali“. Ebenso zeigt sich die Kalischwäche bei einer Bewertung der Ausnutzung des Düngerkalis (Volldüngung gegenüber Volldüngung ohne Kali).

Aus allen Versuchen darf man schließen, daß der Tertiärsand mit der größten Kalibedürftigkeit an erster Stelle steht. Es folgen in der Reihe: Ebstorf, Lintzel, Bausandstein, Lößlehm und auch Basalt. Der Quarzit zeigt merkwürdige Abweichungen und schlechteres Wachstum der Lärche, dürfte aber doch nach den Ergebnissen der Kiefern- und Fichtenversuche bedeutend weniger kalibedürftig sein. Der Tonschiefer ist (neben Muschelkalk!) der einzige Boden, bei dem eine Kalibedürftigkeit vielleicht gerade nur angedeutet ist. Praktisch gesprochen, würde man also im Zweifel sein können, ob man den Tonschiefer, wie auch den Muschelkalk und auch noch den Quarzit mit Kali düngen sollte. Die Frage müßte wohl verneint werden, solange man keine besondere Betriebsintensivierung anstrebt, ebenso wie sie bei allen anderen Boden in jedem Fall bejaht werden müßte.

Sehr beachtliche Ergebnisse liefert auch noch eine Berechnung der Ausnutzung des Bodenkalis durch unsere Pflanzen beim ganz ungedüngten Boden. Diese Ergebnisse sollen aber erst bei Betrachtung der Ergebnisse unserer Versuche über die Nährstofflöslichkeit vermittels chemischer Methoden in besserem Zusammenhang besprochen werden.

3. Bedürftigkeit für Kalk.

Von den beiden Teilwirkungen des Kalkes, Verbesserung der Bodenreaktion und Verbesserung der Nährstoffversorgung mit Kalk, kommt bei Betrachtung der Kalkaufnahme nur die letztere Wirkung in Frage.

Es konnten nur die Pflanzen der Reihen „Volldüngung ohne Kalk“ und „Volldüngung mit Kalk“ und auch nur Lärche und Kiefer untersucht werden.

Der Kalkgehalt der ungekalkten Pflanzen ist in allen Fällen der Höhe nach durchschnittlich und normal. In keinem Fall also liegt eine Bedurftigkeit für den Nährstoff Kalk vor, nicht einmal in den sehr kalkarmen Böden Ebstorf und Lintzel (0,03% CaO im Boden). Außerordentlich hoch ist der Kalkgehalt der Kiefer aus Muschelkalk, so hoch, wie ich ihn selbst bei einjahrigen Hölzern aus stärkst gekalkten Böden bisher noch nicht gefunden habe. Bemerkenswert ist dabei, daß die Kalidüngung trotzdem und trotz hohen Kaligehaltes im Boden (0,17%!) zur Wirkung und auch in einer Erhöhung des Kaligehaltes zum Ausdruck kam. Letzteres ist auch bei Lärche der Fall. Es scheint also, als ob der natürliche Kalk des Bodens sich anders verhält als der in einer frischen Düngung gegebene.

Das Ergebnis dieses zwar kleinen Teilversuches gibt, immerhin gleichsinnig bei Lärche und Kiefer, einen ersten Hinweis dafür, daß die Kalk-Kali-Gegensätzlichkeit sich vielleicht nicht in der Pflanze, sondern außerhalb der Pflanze im Boden bei der Aufnahme der Nährstoffe abspielt. Wäre die Hemmung der Kaliaufnahme durch Kalk auf innere Stoffwechselstörungen der Pflanze zurückzuführen, dann müßte doch wohl bei der Kiefer mit einem Kalkgehalt von 2,34% diese Hemmung sehr scharf auftreten, was keineswegs der Fall ist. Es scheint vielmehr, daß im Boden, vielleicht in Verbindung mit den Absorptionserscheinungen des Dünger-Kalkes und des Dünger-Kalis in den sauren absorbierenden Bodenkomplex hinein, eine Hemmung der Kaliaufnahme infolge der frischen Kalkung eintritt.

Durch die Kalkung ist bei beiden Holzarten in fast allen Fällen der Kalkgehalt bedeutend erhöht. Nur bei Lößlehm ist ausgerechnet bei der Lärche, die in diesem Boden nach Kalkung eine so große Wuchsförderung erfuhr, eine Herabsetzung des Kalkgehaltes vorhanden.

Wenngleich also nach diesen Untersuchungen eine direkte Bedürftigkeit für den Nährstoff Kalk bei allen Böden nicht vorliegt, so sei doch auch an dieser Stelle nochmals betont, daß die Erhöhung des Kalkgehaltes der Hölzer durch Kalkung eine große und nachhaltige Wirkung auf die Bodengüte haben muß.

Denn eine kalk- und basenreiche Waldstreu liefert entweder durch glatte Zersetzung keinen Humus, wie die Natur uns überall bei kalkreichen Böden zeigt, oder schlimmsten Falles hat der unter sehr ungünstigen Verhältnissen doch entstandene Humus eine für die Holzarten geradezu günstige Reaktion und einen guten allgemeinen Nährstoffgehalt. Diese indirekte Wirkung des Kalkes als Nährstoff in den Blattorganen unserer Hölzer kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden.

4. Bedurftigkeit für Phosphorsäure.

Diese Prüfung ist nur mit Lärche und Kiefer ausgeführt. Mangels Material wurden auch nur die Pflanzen der Versuchsreihen 1. Volldüngung ohne Kalk, 2. Volldüngung ohne Kalk und ohne Phosphorsäure sowie 3. Volldüngung mit Kalk untersucht. Ergebnisse in den Tabellen 6 bis 9 und 13.

Der Gehalt beider Holzarten an Phosphorsäure in den mit diesem Nährstoff gedüngten Reihen (sowohl mit als auch ohne Kalk) ist normal hoch, so wie er bei zahlreichen Versuchen bisher gefunden wurde. Er schwankt mit einigen Ausnahmen zwischen etwa 0,3—0,5%.

Anders steht es mit dem Gehalt der ohne P_2O_5 belassenen Pflanzen. Nur bei den Böden Muschelkalk, Basalt und Ebstorf ist der Gehalt noch normal hoch. In allen anderen Fällen erscheint der Gehalt mehr oder minder niedriger und ist in zahlreichen Fällen unter 0,2% gesunken.

Deutet dies schon auf Phosphorsäure-Bedürftigkeit bei den meisten Böden hin, so wird dieser Mangel ganz offensichtlich, wenn man die Menge der aufgenommenen P_2O_5 in den Reihen ohne diesen Stoff betrachtet (vgl. hierzu Tab. 13). Bei beiden Holzarten gleichmäßig ist die Aufnahme mit nicht mehr als höchstens 3 mg je Gefäß bei den Böden: Lößlehm, Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand und Lintzel sehr gering, ebenso gering bei Tonschiefer — Lärche, besser bei Tonschiefer — Kiefer und für beide Holzarten bei Basalt und Ebstorf sowie Muschelkalk — Kiefer. Die Mangelerscheinungen zeigen sich also gleichmäßig im Gehalt und in der aufgenommenen Menge.

Die Ausnutzung der Phosphorsäure des Bodens ist nicht sehr verschieden. Auf die salzsäurelösliche Phosphorsäure bezogen, beträgt die Ausnutzung nicht mehr als etwa 1—2%! (vgl. Tab. 20). Einzige Ausnahme: Ebstorf mit 2,5% (Lärche) bzw. 4,4% (Kiefer).

Die Phosphorsäure hat in der Volldüngung eine nicht unbeträchtliche Wirkung gezeigt, die nicht nur in der Steigerung des Gehaltes, sondern in einer Mehraufnahme zum Ausdruck kommt. Letztere beträgt zwischen 10 und 20% (oder vereinzelt noch mehr) der in der Düngung gegebenen Menge.

Die Wirkung der Kalkung auf die Phosphorsäureaufnahme tritt nicht im ungünstigen Sinne hervor, also nicht derart, daß die Aufnahme aus dem ungekalkten, also saueren Boden besser ist. Bei der Kiefer ist allerdings auch umgekehrt keine Verbesserung der Aufnahme infolge Kalkung erkennbar. Bei der Lärche dagegen ist aus dem gekalkten Boden meistens mehr P_2O_5 aufgenommen und in drei Fällen: Lößlehm, Quarzit und Bausandstein bedeutend mehr. Die Tendenz zur Mehraufnahme tritt im übrigen auch bei der Kiefer für die gleichen Böden wie bei der Lärche hervor, was immerhin erwähnenswert ist. Ebenso verhalten sich beide Holzarten ziemlich gleich, insofern als bei den leichten Böden: Ebstorf und Lintzel die Kalkung ohne ausgesprochene Wirkung auf die Phosphorsäureaufnahme geblieben ist.

Tabelle 13.

Ausnutzung der Phosphorsäure.

Boden	Aufgenommene Menge mg P_2O_5 — aus der Düngung ohne Kalk (Volldüngung)		aus dem Boden ohne Kalk (Volldg. ohne P_2O_5)		aus der Düngung mit Kalk (Volldüngung)	
	Lärche	Kiefer	Lärche	Kiefer	Lärche	Kiefer
Muschelkalk	—	21	4	10	—	—
Basalt	22	34	11	12	—	—
Tonschiefer	14	16	3	8	16	19
Lößlehm	6	11	1	2	11	13
Quarzit	6	14	0	3	16	12
Bausandstein	6	6	1	1	17	8
Tertiärsand	7	15	1	1	10	8
Ebstorf	17	19	6	10	20	18
Lintzel	7	13	0	0,4	7	10

Eine gewisse Parallelität bezüglich der Ausnutzung der Bodenphosphorsäure einerseits, der *Düngerphosphorsäure* andererseits, tritt besonders bei der Lärche (*ungekalkt*) auch noch hervor.

Es hat den Anschein, als ob die Kiefer im saureren Boden (ungekalkt) ein höheres Aneignungsvermögen für P_2O_5 hat als die Lärche; letztere erscheint bei den gekalkten Böden mehr begünstigt.

Aus den Ergebnissen aller Untersuchungen kann abschließend gefolgert werden, daß die Böden: Lößlehm, Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand und Lintzel ausgesprochen phosphorsäurebedürftig sind. Es ist beachtlich, daß diese Bedürftigkeit auch in der Ertragshöhe an Trockensubstanz scharf zum Ausdruck kommt (Gegensatz: Kali). Die anderen Böden Ebstorf, Tonschiefer und selbst Basalt (Muschelkalk bleibt wieder außer Betracht) mögen noch schwach bedürftig erscheinen, namentlich, weil die Differenz in der Ertragshöhe auch darauf hinweist.

5. Bedürftigkeit für Stickstoff.

Der hierher gehörige Teil des ganzen Versuches ist mehr noch als der Teilversuch über die Phosphorsäureverhältnisse der Böden als Anhang oder Vorversuch zu werten. Es bedurfte nur der zusätzlichen Einrichtung einer Reihe ohne Stickstoff in der Abteilung ohne Kalk, um einige Auskunft über die Stickstoffverhältnisse zu bekommen.

Es sind demnach die Reihen Volldüngung und Volldüngung ohne Stickstoff, beide auch ohne Kalk, zur Untersuchung herangezogen. Nur bei der Fichte sind einmal alle Stickstoffbestimmungen gemacht, weil das notwendige Analysenmaterial vorhanden war. Tabelle 14 enthält die Ergebnisse für Lärche und Kiefer (für Fichte vgl. Tab. 10).

Für einjährige Nadelhölzer erscheint nach meinem nun schon umfangreichen Analysenmaterial ein Stickstoffgehalt von mindestens etwa 1,2 bis 1,5% als normal. Demnach ist hier bei beiden Holzarten, soweit sie nicht mit N gedüngt waren, mit nur zwei Ausnahmen bei allen Böden, außer den beiden stickstoffreichen Böden Muschelkalk und Basalt, ein Stickstoffmangel nach dem Gehalt der Pflanzen erkennbar. Die Ausnahmen, die ohne Erklärung bleiben müssen, betreffen den Fall: Lößlehm-Kiefer (1,33% N) und Lärche-Basalt (0,84% N).

Die in der Düngung gegebene Stickstoffmenge von 30 mg je Gefäß war zu gering. Deshalb ist der Gehalt der Lärche bei 5 der mit Stickstoff gedüngten Böden noch unzureichend, der Gehalt der Kiefer nur bei 2, aber den gleichen Böden, die auch für Lärche in Frage kommen.

Die Ausnutzung des Düngerstickstoffs war unerklärlich verschieden. Wenn auch in vielen Fällen bei beiden Holzarten die Ausnutzung $^2/_3$ bis $^5/_6$ des gebotenen N erreichte, so ist doch in den

Fällen: Lößlehm-Kiefer, Quarzit-Lärche, und Tertiärsand-Lärche und Kiefer eine geringere oder sehr geringe Ausnutzung vorhanden.

Trotz dieser Abweichungen, die bei einer größeren Versuchsserie immer vorkommen, kann abschließend gesagt werden, daß drei Erscheinungen, gerade weil sie gemeinsam gleichsinnig und bei beiden Holzarten auftreten, eindringlich dafür sprechen, daß bei der Mehrzahl unserer Böden auch eine Bedürftigkeit für Stickstoff vorliegt. Es handelt sich um den nicht normalen, zu niedrigen Stickstoffgehalt, zweitens um die starke Aufnahme des Düngerstickstoffes, die aber in 7 von 16 Fällen den Gehalt der Pflanzen noch nicht genügend erhöhen konnte, und drittens, um die geringere Massenerzeugung beider Holzarten bei Fehlen der Stickstoffdüngung.

Tabelle 14.
Ausnutzung des Stickstoffs.

Boden	Stickstoffgehalt und aufgenommene Menge							
	aus der Düngung (Volldüngung ohne Kalk)				aus dem Boden (Volldüngung ohne Kalk und ohne Stickstoff)			
	Lärche		Kiefer		Lärche		Kiefer	
	%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
Muschelkalk	—	—	1,87	59	1,79	31	1,39	38
Basalt	1,39	92	1,60	84	0,84	47	1,47	69
Tonschiefer	1,57	74	1,35	63	0,97	45	0,95	38
Lößlehm	1,69	40	1,27	48	1,07	21	1,33	38
Quarzit	0,99	23	1,56	47	0,74	14	1,11	22
Bausandstein	0,99	29	1,67	50	0,44	8	0,86	15
Tertiärsand	0,93	30	1,04	38	0,68	14	1,01	20
Ebstorf	0,89	37	1,05	42	0,61	12	1,04	16
Lintzel	1,00	35	1,23	42	0,58	13	1,09	17

Die Stickstoffbestimmungen in den Ernten der Fichte hatten folgendes Ergebnis. In Übereinstimmung mit dem Verhalten der Lärche und Kiefer war in den Pflanzen der Böden: Bausandstein, Tertiärsand, den beiden Diluvialsanden und vielleicht auch noch Quarzit der Stickstoffgehalt mangelhaft niedrig (bei einigen Böden selbst noch nach Stickstoffdüngung), wodurch Stickstoffmangel angedeutet wird. Die Stickstoffaufnahme war ähnlich hoch wie bei den anderen Holzarten.

Besonders hervorgehoben zu werden verdient, daß die Stickstoffaufnahme in 5 von 7 Fällen nach Kalkung erheblich gesteigert war.

Alle Untersuchungen zeigen, daß die Böden: Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel deutlich bedürftig für Stickstoff waren. Keinen Stickstoffmangel zeigten die Böden Basalt und Muschelkalk (soweit im letzteren Fall ein Urteil möglich ist). Lößlehm und Tonschiefer nehmen eine Mittelstellung

ein, über die wir vorläufig kein Urteil abgeben können. Nach der Massenerzeugung allein beurteilt, ist auch der Lößlehm stickstoffhungrig.

2. Chemische Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Nährstofflöslichkeit.

Die Methoden wurden in folgender Weise durchgeführt:

1. Auszug des Bodens mit 10%iger Salzsäure. 200 g Feinboden werden mit 400 ccm 10%iger Salzsäure eine Stunde auf dem Wasserbad gekocht. Im Filtrat Bestimmung von Kali, Kalk, Magnesia und Phosphorsäure in üblicher Weise.

2. Auszug des Bodens mit 10%iger Ammoniumchloridlösung. Da es sich bei Waldböden oft um sehr geringe Mengen der austauschbaren Stoffe, Kali und Kalk, handelt, wurden statt 25 g Boden 100 g Feinboden mit 200 ccm 10%iger Ammonchloridlösung an zwei aufeinander folgenden Tagen je 1 Stunde im Schüttelapparat geschüttelt. Das 3stündige Digerieren auf dem Wasserbad statt dieses 2täglichen Schüttelns empfiehlt sich nicht, weil dabei reichlich braune Humusstoffe in Lösung gehen, die sehr hinderlich sind. Die schwach saure Lösung wird mit Ammoniak neutralisiert und filtriert. Im Filtrat bestimmt man zunächst in essigsaurer Lösung den Kalk, im Filtrat davon das Kali in üblicher Weise.

3. Auszug des Bodens mit 1%iger Zitronensäure. 80 g Feinboden werden mit 800 ccm Lösung am 1. Tag 2 Stunden, am 2. Tag 1 Stunde im Apparat geschüttelt. 700 ccm des Filtrates werden zur Trockne eingedampft, der Rückstand bei 600° im Muffelofen zwecks Zerstörung der Zitronensäure verascht. Die Asche wird mit Salpetersäure digeriert, zur Trockne gebracht, mit HNO_3-haltigem Wasser aufgenommen. Nach Abfiltrieren der Kieselsäure wird die Phosphorsäure nach der Molybdänmethode gewichtsanalytisch bestimmt.

4. Elektro-Ultrafiltration nach Köttgen: im Institut des Herrn Prof. Köttgen in Gießen.

Zweck dieser Untersuchungen ist, wie oben dargelegt wurde, die Ergebnisse dieser Methoden mit denen des physiologischen Versuchs (Vegetationsversuchs) zu vergleichen, um zu sehen, ob bzgl. der Nährstofflöslichkeit eine Parallelität vorhanden ist. Der Vegetationsversuch dient dabei als Prüfbasis. Er muß deshalb, wenn das ideale Ziel dieser Untersuchungen erreicht wird, ausgeschaltet werden, wenn sich zeigt, daß eine der chemischen Methoden analoge Werte für die Nährstofflöslichkeit liefert.

Leider ist bei diesem Versuch noch nicht die Löslichkeit der in der Düngung gegebenen Nährstoffe, etwa nach 3- oder 6monatiger Lagerung der gedüngten Böden, nach chemischen Methoden untersucht. Vielleicht würde man durch solche Untersuchungen, die jetzt von mir auch gemacht werden, eine zusätzliche Auskunft über die Kalk-Kali-Gegensätzlichkeit, sowie über die sehr verschiedene Ausnutzung der Düngerphosphorsäure bei den verschiedenen Böden erhalten.

Die Löslichkeit des Bodenkalis.

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Untersuchung nach den verschiedenen Methoden mit den Ergebnissen der Standardmethode des Vegetationsversuches zusammen aufgeführt.

Tabelle 15.

Löslichkeit des Bodenkalis.

Boden	Aus 100 g trockenen Boden wurden entzogen mg Kali durch											
	HCl	NH_4Cl	E.U.F. Köttgen	Lärche			Kiefer			Fichte		
				in Versuchsreihe								
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tonschiefer	50	18,4	6,74	5,2	6,2	6,8	11,0	12,2	11,0	8,4	11,6	10,2
Basalt	25	8,0	3,81	3,6	4,5	—	2,5	3,2	—	5,2	6,4	—
Quarzit	38	7,1	2,62	3,4	3,0	3,6	6,6	6,4	6,2	5,8	7,0	6,4
Lößlehm	43	6,7	2,10	2,8	3,0	2,8	3,2	3,8	2,4	3,6	4,0	3,6
Bausandstein	40	4,9	2,38	2,6	2,6	2,4	3,2	3,0	2,6	3,6	4,2	3,2
Lintzel	22	3,2	1,41	2,3	2,5	1,7	2,7	2,7	2,2	2,7	2,8	2,5
Ebstorf	14	2,6	0,94	1,8	1,3	1,5	2,3	2,3	2,7	3,0	3,2	2,8
Tertiärsand	24	1,9	1,87	1,4	1,8	1,6	1,6	1,0	1,6	2,0	2,4	2,2

Bei letzterer Methode ist berechnet, wie viel Kali die drei Holzarten in den Versuchsreihen 1. ungedüngt, 2. Volldüngung ohne Kali und ohne Kalk und 3. Volldüngung ohne Kali, jedoch mit Kalk, aus 100 g des Bodens aufgenommen haben, um Werte zu erhalten, die mit den Zahlen nach den chemischen Methoden ohne Umrechnung vergleichbar sind.

Die Vegetationsversuche zeigen in den neun miteinander vergleichbaren Serien eine mehr als gewöhnliche Parallelität. Eine Abweichung, die ganz aus der Reihe fällt, ist eigentlich nur in der Reihe: Kiefer-Basalt vorhanden. Weitere Abweichungen, die das Gesamtbild nicht wesentlich stören, sind vorhanden: bei HCl-Basalt und E. U. F.-Tertiär und Ebstorf, doch gehen die letzteren Werte wieder parallel den Werten für die gleichen Böden und den HCl-Auszug. Die Holzarten haben unter dem Einfluß des Kalkes in der Reihe 3 gegenüber 2 aus weiter oben angeführten Gründen meistens weniger Kali aufgenommen. Jedoch bleibt die Parallelität mit den Ergebnissen der anderen Reihen mit kleinen Abweichungen vollauf genügend erhalten.

Tabelle 16.

Nachlieferung des Kalis nach der Methode: E. U. F.-Köttgen.

Boden	Es gingen in Lösung mg Kali je 100 g Boden nach Minuten				
	5	10	15	20	insgesamt
Muschelkalk	1,420	2,032	1,470	1,658	6,580
Tonschiefer	4,050	1,350	0,935	0,405	6,740
Basalt	1,642	1,085	0,605	0,480	3,812
Quarzit	2,215	0,405	Spur	—	2,620
Lößlehm	1,550	0,550	—	—	2,100
Bausandstein	2,050	0,330	Spur	—	2,380
Lintzel	1,090	0,320	Spur	—	1,410
Ebstorf	0,645	0,290	—	—	0,935
Tertiärsand	1,872	—	—	—	1,872

Hiernach zeigen alle vier geprüften Methoden die unterschiedliche Kalibedürftigkeit der Böden ganz gleichsinnig an. Man kann die Böden in der aus der Tabelle ersichtlichen Weise etwa in drei Gruppen einteilen.

Sucht man nach feineren Unterschieden, dann decken sich am besten die Ergebnisse des Vegetationsversuches und der NH_4Cl-Methode. Kleinere Abweichungen, die nicht sehr ins Gewicht fallen, sind bei der E. U. F.-Köttgen- und bei der HCl-Methode vorhanden. Daß selbst die alte, doch sehr grobe Methode der Nährstoffbestimmung im HCl-Auszug mit großer Annäherung auch ein richtiges Bild gibt, hängt mit der Eigenart der Waldböden zusammen. Ich habe mich hierzu früher ausführlich geäußert (3, S. 125 u. f.).

Bei der Methode der E. U. F. strebt Köttgen bekanntlich noch eine Verfeinerung an, indem er die Abnahme der Nährstoffnachlieferung in gewissen Zeitabständen feststellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 15 gesondert aufgeführt.

Es ist absichtlich die Reihenfolge der Tabelle 15 beibehalten. Eine wesentliche Verschiebung der Reihenfolge ist, abgesehen von der ersten Anlieferung nach 5 Minuten, nicht ersichtlich, wenn man die Einzelreihen ins Auge faßt. Höchstens ist die große „Kalischwäche" des Tertiärsandes daran besonders erkennbar, daß er nach 5 Minuten der Elektrolyse schon kein Kali mehr nachliefert.

Ob für Waldböden diese verfeinerte Art der Untersuchung notig ist, kann erst nach Auswertung einer genügend großen Versuchsreihe entschieden werden.

Durchaus nicht überflüssig erscheint es, mit diesen verschiedenartigen Prüfungen der Kalibedürftigkeit nun noch zwei Leistungen der Holzpflanzen beim Vegetationsversuch zu vergleichen, den Mehrertrag und die Mehraufnahme von Kali, beides nach Kalidüngung.

Aus diesen Zahlenwerten geht die Kalibedürftigkeit der Böden nur für die Gruppe der drei letzten Böden hervor. Wie weiter oben schon erwähnt, ist die Vermutung berechtigt, daß infolge der Kali-

Tabelle 17.
Mehrertrag nach Kalivolldüngung.

Boden	Mehrertrag in g je Gefäß: ohne Kalk			mit Kalk		
	Lärche	Kiefer	Fichte	Lärche	Kiefer	Fichte
Tonschiefer	0,0	— 0,5	0,3	— 0,5	0,8	0,5
Basalt	0,9	0,4	0,2	—	—	—
Quarzit	— 0,2	— 0,5	— 0,1	0,4	— 0,2	0,1
Lößlehm	0,4	0,3	— 0,1	0,0	— 0,1	— 0,3
Bausandstein	0,5	0,4	0,2	— 0,2	0,2	0,1
Lintzel	0,7	0,0	0,0	0,3	0,1	0,5
Ebstorf	0,6*)	0,4	0,1	0,5	0,4	0,2
Tertiärsand	0,7	0,7	— 0,2	0,9	1,1	10,

*) nach berechtigter Ausschaltung eines Wertes, vgl. Tabelle 2.

düngung im Boden Erscheinungen aufgetreten sind, die zu Wuchshemmungen führten. Daß dabei die besondere Bodenbeschaffenheit[3]) im Spiel sein muß, erkennt man daran, daß bei einzelnen Böden die nachteilige Wirkung auf den Ertrag (Mindererertrag nach Kalidüngung) besonders auftritt, nämlich beim Quarzit sehr stark, beim Lößlehm fast ebenso und beim Tonschiefer auch noch stärker. Von den Holzarten liefert die Lärche noch die klarsten Ergebnisse, die nebenbei das kleinste Aneigungsvermögen für Kali zu haben scheint.

Andere und klare Ergebnisse liefern dagegen die Werte für Mehraufnahme an Kali nach Kalivolldüngung (Tab. 18).

Wenngleich auch hier einzelne Abweichungen vorkommen, so ist doch ohne weiteres die Einordnung der Böden nach drei Gruppen hinsichtlich der Mehraufnahme an Kali, d. h. auch nach der Kalibedürftigkeit, gegeben, und zu den einzelnen Gruppen gehören die gleichen Böden wie in Tabelle 15. Durch die sehr unterschiedlich große Kaliaufnahme nach Kalidüngung kommt die Bedürftigkeit der Böden ganz analog den Ergebnissen der chemischen Prüfmethoden zum Ausdruck. Je größer die Kalibedürftigkeit, um so größer die Kaliaufnahme nach Düngung.

Tabelle 18.

Mehraufnahme von Kali nach Kalivolldüngung.

Boden	Mehraufnahme von Kali in mg je Gefäß					
	ohne Kalk			mit Kalk		
	Lärche	Kiefer	Fichte	Lärche	Kiefer	Fichte
Tonschiefer	5	9	3	12	11	13
Basalt	21	19	19	—	—	—
Quarzit	24	18	15	19	15	13
Lößlehm	10	16	10	18	19	13
Bausandstein	22	20	16	15	19	18
Lintzel	26	32	27	24	24	27
Ebstorf	33	32	28	27	26	26
Tertiärsand	24	30	24	22	20	24

Die Löslichkeit des Bodenkalkes.

Da der Vegetationsversuch eine Bedürftigkeit für den Kalk als Nährstoff nicht nachgewiesen hat, kann von den chemischen Methoden nicht viel erwartet werden.

Ordnet man in Tabelle 19 die Böden nach der Höhe der Kalkmenge, die von der Kiefer aufgenommen ist, dann zeigt sich wohl eine gewisse Proportionalität zu den Werten der anderen Ver-

[3]) Die naheliegende Vermutung, daß die nachteilige Wirkung infolge Kalidüngung auf das im Austausch mit den Neutralsalzen in Kationenstellung in Lösung gegangene Aluminium (Giftwirkung) zurückzuführen sei, hat sich nicht bestätigt. Bestimmungen der Menge der im Austauch mit n/1 KCl gelösten Sesquioxyde gaben keine merklichen Unterschiede bei den verschiedenen Böden.

suchsmethoden. Z. B. sind die Werte für Kalkentzug durch Lärche weitgehend analog. Nur die Böden Lintzel und Lößlehm lieferten abweichende Werte. Der Lößlehm verhielt sich aber ohne Kalkung recht abnorm gegenüber der Lärche, und der Boden Lintzel gab ohne Kalkung schon eine hohe Ernte. Die weitere Proportionalität zu dem salzsäurelöslichen Kalk ist auch fast vollkommen vorhanden. Die einzige Ausnahme ist bei dem Boden Ebstorf vorhanden, der proportional zum pflanzenaufnehmbaren Kalk viel zu wenig

Tabelle 19.
Löslichkeit des Bodenkalks.

Boden	Aus 100 g trockenem Boden wurden entzogen mg Kalk durch				
	HCl	NH_4Cl	E. U. F. Köttgen	Lärche	Kiefer
				bei Volldüng.	ohne Kalk
Muschelkalk	920	—	73,6	—	87
Basalt	320	174	12,1	40	50
Ebstorf	28	9,5	Spur	36	38
Tonschiefer	60	24	Spur	31	35
Bausandstein	46	19	4,60	24	34
Lößlehm	40	14	5,35	22	35
Tertiärsand	40	7,6	Spur	24	31
Quarzit	39	27	3,35	21	31
Lintzel	27	8	3,15	28	27

säurelöslichen Kalk enthält. Aber dieser Boden hat wieder ohne Kalkung schon höchste Ernten geliefert und ist von dem wuchshemmenden Einfluß auf die Pflanzen durch Kalidüngung (gegenüber Volldüngung ohne Kali) aus unbekannten Gründen verschont geblieben.

Ist also die Parallelität der Werte bei diesen drei Prüfmethoden mit den Stichwörtern „Lärche", „Kiefer" und „HCl" noch ziemlich gut vorhanden, so liefern die beiden anderen Methoden „NH_4Cl" und „E. U. F." stärkste Abweichungen. Die letzteren Methoden sind auch unter sich nicht gleichartig.

Es sei nur erwähnt, daß der Boden Ebstorf auch hier ganz aus der Reihe fällt und daß auch der Quarzitboden besonders abnorm ist. Letzterer zeigt am stärksten die Wuchshemmung infolge Kalidüngung.

Von den drei chemischen Methoden haben also, wenn man pflanzenphysiologische Gesichtspunkte als Wertmaßstab nimmt, zwei ganz versagt. Nur die Salzsäuremethode hat ganz brauchbare Ergebnisse geliefert — allerdings Ausnahme: Ebstorf.

Die Löslichkeit der Bodenphosphorsäure.

Beim Pflanzenversuch trat die Bedürftigkeit vieler Böden für Phosphorsäure am schärfsten hervor.

Ordnet man die Böden wieder nach dem Nährstoffentzug durch die Kiefer, wobei der Muschelkalk außer Wettbewerb bleibt, so erscheinen deutlich zwei Gruppen von Böden. In Gruppe 1 sind die gleichen Böden in derselben Reihenfolge wie für den Kalkentzug vertreten.

Die Lärche zeigt eine weitgehende Parallelität zur Kiefer hinsichtlich des Entzuges von Phosphorsäure aus den Böden. Die Lärche hat nur aus den sauren Böden (also nicht aus Basalt) meist weniger Nährstoff aufgenommen.

Tabelle 20.
Löslichkeit der Bodenphosphorsäure.

Boden	Aus 100 g trockenem Boden wurden entzogen mg Phosphorsäure durch				
	HCl	1 % ige Zitronensäure	E. U. F. Köttgen	Lärche	Kiefer
				bei Volldüngung ohne P_2O_5 und ohne CaO	
Muschelkalk	143	34,3	0,860	0,9	2,2
Basalt	127	21,3	0,0	2,4	2,7
Ebstorf	39	22,9	0,330	1,0	1,7
Tonschiefer	67	9,3	Spur	0,6	1,6
Quarzit	34	7,6	0,0	0	0,6
Lößlehm	32	8,5	0,0	0,2	0,4
Bausandstein	34	6,5	0,0	0,2	0,2
Tertiärsand	38	7,5	0,0	0,2	0,2
Lintzel	32	9,8	0,0	0	0,1

Was die Ergebnisse der Untersuchungen nach den chemischen Methoden betrifft, so zeigt die Zitronensäuremethode die beste und eine gute Übereinstimmung mit der physiologischen Prüfung durch Pflanzen. Auch die Salzsäuremethode läßt noch eine Proportionalität erkennen, mit Ausnahme des Bodens Ebstorf, bei dem eine ganz abnorme Löslichkeit der Bodenphosphorsäure vorliegt. Nicht anders ist es bei der E. U. F., bei der der Ausfall der Löslichkeit bei Basalt unerklärlich ist. Die E. U. F. entzieht, wie jetzt erkennbar ist, alle Nährstoffe in geringeren Mengen als die rein chemischen Methoden des Auszuges mit NH_4Cl oder 1%iger Zitronensäure.

Die Nachlieferungskurve bei der E. U. F. ergibt bei Muschelkalk die Werte 1. 0,200, 2. 0,230, 3. 0,230, 4. 0,200 mg und bei Ebstorf die Werte 1. 0,0, 2. 0,090, 3. 0,100, 4. 0,140 mg.

Wie bei der Prüfung der Kalibedürftigkeit ist es auch hier wichtig, den Ergebnissen dieser chemischen Untersuchungsmethoden noch die Werte für Mehrertrag und Mehraufnahme an Phosphorsäure durch die Pflanzen nach Volldüngung mit Phosphorsäure gegenüber Volldüngung ohne diesen Nährstoff gegenüber zu stellen. Es liegen hier leider nur die Reihen ohne Kalkung vor.

Die Zahlen für Mehraufnahme nach Kalkung, die, wie schon besprochen, sehr wechselvoll ausgefallen sind, sind in der Tabelle 21 in Klammern angeführt, aber nicht streng vergleichbar, weil die Reihe „Volldüngung ohne Phosphorsäure aber mit Kalk" in den Versuchen fehlt.

Was die Zahlen für Mehrertrag angeht, so ist wieder kein Schluß auf die Phosphorsäurebedürftigkeit möglich, wenigstens gar nicht, wenn man eine Abstufung bei den Böden vornehmen will. Vielmehr erscheinen alle Böden ziemlich gleich bedürftig, und die Böden Lößlehm und Quarzit z. B. vielleicht nicht so sehr, obgleich gerade hier alle Tatsachen (besonders auch z. B. der niedrige P_2O_5-Gehalt der Pflanzen ohne Phosphorsäure) für ausgesprochene Bedürftigkeit sprechen. Offenbar ist bei diesen Böden wieder die Wuchshemmung, namentlich im ungekalkten Zustand, im Spiel, deren Ursachen bisher unbekannt sind.

Tabelle 21.

Mehrertrag und Mehraufnahme von Phosphorsäure nach Volldüngung bei ungekalkten Böden.

Boden	Nach Volldüngung mit Phosphorsäure wurde			
	mehr P_2O_5 geerntet in g je Gefäß		mehr P_2O_5 entzogen mg je Gefäß	
	Lärche	Kiefer	Lärche	Kiefer
Basalt	2,7	1,4	11	22
Tonschiefer	1,8	0,3	11 (13)	8 (11)
Lößlehm	0,6	1,2	5 (10)	9 (11)
Quarzit	0,7	0,6	6 (16)	11 (9)
Bausandstein	1,3	0,5	5 (16)	5 (7)
Tertiärsand	2,2	1,2	6 (9)	14 (7)
Ebstorf	1,6	0,8	11 (14)	9 (8)
Lintzel	1,9	1,3	7 (7)	13 (10)

Im Gegensatz zu den Kaliverhältnissen ist aber auch aus den Zahlen für die Mehraufnahme an P_2O_5 nichts abzulesen. Denn gerade die Pflanzen, die aus dem ungedüngten Boden schon am meisten Phosphorsäure entnahmen, haben nach Düngung mit diesem Nährstoff vielfach wieder vergleichsweise eine hohe Aufnahme aufzuweisen.

Die Bedürftigkeit der Böden muß also bei Anwendung der physiologischen Prüfmethode nach dem Phosphorsäuregehalt der Pflanzen und nach der Größe des Entzuges dieses Nährstoffes aus dem Boden durch die Pflanzen bewertet werden.

Mit den so erhaltenen Ergebnissen stimmte bei unseren Versuchen die chemische Methode des Bodenauszuges mit 1%iger Zitronensäure in ihren Ergebnissen bisher am besten überein.

Die Stickstoffbedürftigkeit.

Eine chemische Untersuchungsmethode habe ich bisher nicht verwendet und auch nicht gesucht. Immerhin besteht die Möglich-

keit, das vorliegende Analysenmaterial so auszuwerten, daß man nach einer Parallelität zwischen Stickstoffaufnahme der Holzarten und Gesamt-Stickstoffgehalt der Böden sucht.

In der Tabelle 22 sind die Böden nach dem Gehalt an Gesamt-N geordnet. Eine gewisse Parallelität zwischen Stickstoffgehalt des Bodens und Stickstoffentnahme durch die Holzarten ist erkennbar. Nur beim Lößlehm, der ein guter Buchenboden ist und keinen Auflagehumus hat, ist die Ausnutzung des Bodenstickstoffs merklich höher. Die Ausnutzung beträgt, bei ganz grober Berechnung nach geschätzten Mittelwerten, bei allen anderen Böden zwischen 3 und 5%, eine Ausnutzung, die ich auch früher schon gefunden habe. Der Lößlehm hat eine Ausnutzung von etwa 7% oder mehr.

Tabelle 22.
Aufnehmbarkeit des Bodenstickstoffs.

Boden	In der Bodenmenge (440/500/600 g) je Gefäß mg Gesamt-N	Aus dem Boden wurden entnommen mg N in den Versuchsreihen ohne Kalk		
		Volldüngung ohne N		ungedüngt
		durch Lärche	durch Kiefer	durch Fichte
Basalt	1300	47	69	60
Tonschiefer . . .	900	45	38	49
Quarzit	695	14	22	22
Lintzel	535	13	17	16
Tertiärsand . . .	425	14	20	21
Bausandstein . . .	415	8	15	12
Lößlehm	405	21	38	32
Ebstorf	396	12	16	14

Ob auf diesem Wege durch den Vegetationsversuch auch die Güte des Bodenhumus ermittelt werden kann, müssen besondere Versuche entscheiden. Diese Zahlen sind auch deshalb noch nicht sehr aufschlußreich, weil die Mitwirkung des Kalkes durch Reaktionsverbesserung des Bodens und bei der Zersetzung des Humus noch nicht geprüft wurde.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

A. Beurteilungsmaßstäbe für die Versuche.

Es wird der Vegetationsversuch in der vorliegenden Ausführungsform als Standardmethode angesehen. Bei der dichten Bepflanzung des Bodens könnte die Ertragshöhe je Gefäß nicht so wichtig erscheinen mit dem Hinweis, daß die Pflanzen sich gegenseitig zu sehr beeinträchtigt haben (Wurzelkonkurrenz). In Widerlegung dieses Einwandes zeigen die Versuche, daß die Einzelpflanze durchaus scharf auf die Besonderheiten der Güte eines jeden Bodens anspricht. Die Erträge „ungedüngt“ sind nämlich nicht ausgeglichen, sondern bei den verschiedenen Böden sehr ungleich hoch. Ferner sind auch die Erträge „Volldüngung“ noch

nicht ausgeglichen. Selbst bei Kalkung und Volldüngung, d. h. bei Gleichstellung des Reaktionsgrades in allen Böden sind bedeutende Unterschiede im Ertrag vorhanden. Dies kann als Beweis dafür gelten, daß die Düngung keinesfalls übertrieben stark war, wie auch die Umrechnung je Hektar zeigte.

Die Wuchsleistung der Pflanzen war auch insofern noch nicht gedrosselt, obgleich je Pflanze nur eine Bodenmenge von 10, 12, 15 g im Gefäß verfügbar war, als die absolute Ertragshöhe je Pflanze nicht zurückstand hinter der Ertragshöhe von in Mitscherlich-Gefäßen gezogenen Pflanzen zahlreicher früherer Versuche. Bei den letzteren Pflanzen entfiel je Pflanze im Gefäß eine Bodenmenge von etwa 60—75 g, also die 6- bis 7fache Menge.

Andererseits ist wichtig, daß der Nährstoffentzug zweifellos von der Gesamtoberfläche aller Wurzeln abhängig ist. Hier scheint die Versuchsanstellung auch das Richtige zu treffen, insofern als die Pflanzendichte die Möglichkeit für den stärksten Nährstoffentzug zuließ. Offenbar war der Nährstoffentzug schon maximal möglich bei nicht sehr hohen oder gar schwachen Wuchsleistungen (in den ungedüngten Reihen). Denn eine Nährstofferschöpfung zeigte sich oft darin, daß durch Beidüngung z. B. mit P und N das Wachstum zwar erheblich gesteigert, die Kaliaufnahme gegenüber ungedüngt aber vielfach gar nicht oder nur ganz unbedeutend erhöht war.

Deshalb erscheint diese Methode des Gefäßversuches als Standardmethode geeignet und einer sorgfältigen statistischen Prüfung wert.

Ob eine Vereinfachung der Methode derart möglich ist, daß nur die Ernteerträge, nicht aber auch die qualitative und quantitative Nährstoffaufnahme ermittelt werden, erscheint zunächst fraglich. Die Versuche haben bisher gezeigt, daß zwei Grade der Nährstoffbedürftigkeit bei den Böden unterschieden werden können. Eine schwache oder „einfache“ Bedürftigkeit wird derart angezeigt, daß nach Düngung nur eine Steigerung der Massenerzeugung erkennbar wird, der Nährstoffgehalt der Pflanzen aber keine Änderung erfährt, d. h. die ungedüngten Pflanzen haben auch schon einen normalen oder durchschnittlich hohen Gehalt. Eine stärkere oder „verschärfte“ Bedürftigkeit kündigt sich dadurch an, daß ungedüngte Pflanzen nicht nur niedrigere Massenerzeugung, sondern auch einen niedrigen oder gar abnorm niedrigen Nährstoffgehalt aufweisen.

Um diese feineren und wichtigen Unterschiede zu ermitteln, wird man auf die Feststellung der Nährstoffaufnahme nicht verzichten können. Außerdem ist in dem jetzigen Stadium der Erprobung dieser und anderer Methoden die Nährstoffbestimmung nötig, um die Ergebnisse anderer noch einfacherer, chemischer Methoden zur Bestimmung der Nährstofflöslichkeit mit dieser Standardmethode des Vegetationsversuches vergleichen zu können.

Sehr bedauerlich ist, daß eine und die letzte entscheidend wichtige vergleichende Prüfung der Standardmethode an den Ertragsergebnissen von praktischen Walddüngungsversuchen noch nicht möglich ist, weil solche Versuche noch fehlen. Selbst wenn sie heute eingerichtet würden, könnte man doch erst nach frühestens 20 oder besser 30 Jahren gute Ertragsermittelungen ausführen, um die Ergebnisse mit denen der Standardmethode in Vergleich zu setzen. Erst dann und auch nur, wenn genügend Versuche vorlägen, könnte man an die Aufstellung von Grenzzahlen für die Düngerbedürftigkeit denken.

Ohne Düngungsversuche, d. h. auf statistischem Wege nach der Wuchsleistung der aufstockenden Bestände Beziehungen zu dem Vorrat an löslichen Nährstoffen in den betreffenden Böden, wie er durch die Standardmethode gefunden wird, aufstellen zu wollen, ist undurchführbar. Denn es ist unbekannt, welche Wachstumsfaktoren und außerdem welche Bestandesbehandlung für die derzeitige Wuchsleistung in jedem Fall verantwortlich sind.

Daß man später für die Bestimmung der Nährstoffgüte der Waldböden den Weg der Vergleichung der Ergebnisse der hier geprüften Methoden mit den Ergebnissen von Walddüngungsversuchen einmal gehen muß, um eine zuverlässig und fein messende Methode zu erhalten, ist mehr als wahrscheinlich. Vorläufig muß man in der oben dargelegten Weise nach der Standardmethode eine „einfache“ und „verschärfte“ Düngerbedürftigkeit aus den Ergebnissen der Standardmethode ablesen.

B. Die Nährstoffbedürftigkeit der untersuchten Böden.

a) Allgemeine Düngerbedürftigkeit.

1. Die „Nährstoffschwäche“ war bei allen untersuchten Böden für alle Nährstoffe doch so groß, daß das stärkste Wachstum nur bei absoluter Volldüngung mit Kalk, Kali, Phosphorsäure und Stickstoff erreicht wurde.

Bei den leichten, an Austauschsilikaten armen, aber an Humus reichen und sehr sauren Böden Ebstorf und Lintzel wurde der ungünstige Reaktionsgrad durch die gleichmäßige und gute Ernährung infolge Volldüngung ohne Kalk ganz ausgeglichen (Höchsternte schon ohne Kalkung).

2. Alle Holzarten (Lärche, Kiefer, Fichte) zeigen die allgemeine Nährstoffschwäche und das Sonderverhalten der leichten Sandböden gleichsinnig an.

3. In einigen Fällen hat die zusätzliche Kalidüngung in der Volldüngung schwach nachteilig auf die Wuchsleistung gewirkt (Höchsternte in den Reihen: Volldüngung ohne Kali). Die Erscheinung haftet gewissen Böden (Lößlehm, Quarzit) besonders an.

Eine Beziehung zu der Menge an austauschbarem Aluminium, das giftig hätte wirken können, wurde nicht festgestellt. Die Holzarten zeigten bei dieser Kaliwirkung kein unterschiedliches Verhalten.

b) Die Bedürftigkeit der Böden für Kali.

1. Merkmale für die Kalibedürftigkeit der Böden sind zu finden in:
1. den Mehrerträgen infolge Kalidüngung,
2. der Mehraufnahme von Kali infolge Kalidüngung,
3. der Kaliaufnahme aus dem ungedüngten Boden,
4. der Kaliaufnahme aus dem nicht mit Kali, aber mit den anderen Nährstoffen gedüngten Boden,
5. dem etwaigen Rückgang im Kaligehalt unter den Bedingungen zu 4.

Die Merkmale 1 und 2 lassen Rückschlusse zu auf einfache Düngerbedürftigkeit, die Merkmale 3—5 auf verschärfte oder ausgesprochene Bedürftigkeit.

Der Nachweis der Bedürftigkeit nach den Mehrerträgen infolge Kalidüngung ist bei diesem Versuch und so lange noch mangelhaft, als die bisher ihrer Ursache nach unbekannte, nachteilige Wirkung der Kalidüngung auf den Ertrag vorhanden ist. Nach diesem Merkmal zeigen die Böden: Tertiärsand und Basalt, allenfalls auch Ebstorf und Lintzel und in den Reihen ohne Kalk auch Bausandstein trotz der auch hier wohl anzunehmenden hemmenden Wirkung der Kalidüngung die Bedürftigkeit für Kali an.

2. Nach allen Merkmalen lassen sich die untersuchten Böden — vorläufig, da bisher nur 8 untersuchte Böden vorliegen —, in 3 Gruppen einteilen und beurteilen.

Gruppe I, nur Boden: Tonschiefer, gekennzeichnet durch geringe und ungleiche Mehrerträge sowie schwächste Mehraufnahme von Kali (bis 10—13 mg je Gefäß) nach Kalidüngung, ferner durch stärkste Kaliaufnahme aus dem ungedüngten Boden (erheblich über 20 mg je Gefäß und im Höchstfall bei Kiefer 55 mg !), durch bemerkenswerte Nachlieferung von Kali infolge Beidüngung mit anderen Nährstoffen ohne Kali, und endlich durch hohen und normalen Kaligehalt der ungedüngten Pflanzen, der nach Beidüngung ohne Kali verhältnismäßig wenig trotz bedeutender Steigerung der Erträge gegenüber ungedüngt herabgesetzt ist.

Vorläufige Bewertung: keine Kalibedürftigkeit.

Gruppe II, umfassend die Böden: Basalt, Quarzit, Lößlehm und Bausandstein, gekennzeichnet: nur teilweise durch geringere bis mittlere Mehrerträge (Störungen bei Quarzit und Lößlehm!), aber durch stärkere Kaliaufnahme nach Kalidüngung (durchschnittlich 15—20 mg je Gefäß), ferner durch geringere Kaliaufnahme aus dem ungedüngten Boden (durchschnittlich etwa 13—18 mg, also unter 20 mg je Gefäß. — Ausnahmen: Quarzit mit Kiefer und

Fichte, sowie Basalt mit Fichte über 20 mg bis 33 mg), gekennzeichnet ferner durch keine oder geringfügige Nachlieferung von Kali infolge Beidüngung mit anderen Nährstoffen ohne Kali (Ausnahme: Basalt). Der Kaligehalt der nicht mit Kali gedüngten Pflanzen ist uneinheitlich, bei Quarzit hoch, bei Basalt in Lärche und Kiefer sehr niedrig, bei den beiden anderen Böden mittel. In allen Fällen ist aber die Herabsetzung des Kaligehaltes infolge Beidüngung mit anderen Nährstoffen ohne Kali deutlich (auch bei Quarzit) und zum Teil sehr erheblich (bei Bausandstein und Lößlehm).

Vorläufige Bewertung: für Quarzit wohl noch keine, für die anderen Böden schwache bis mittlere Kalibedürftigkeit.

Gruppe III, umfassend die Böden: Lintzel, Ebstorf und Tertiärsand. Die Mehrerträge infolge Kalidüngung sind, mit einigen Ausnahmen bei Lintzel, meist doch erheblich größer als bei den Böden der Gruppe 2. Die Kaliaufnahme nach Kalidungung ist noch höher als bei Gruppe 2 (durchschnittlich erheblich über 20 mg, etwa 21 bis 27 mg und mehr). Die Kaliaufnahme aus dem ungedüngten Boden ist geringer als 20 mg je Gefäß und ganz besonders klein bei dem Tertiärsand (in 6 von 9 Fällen unter 10 mg). Der Kaligehalt ist dabei in den meisten Fällen schon recht gering. Die Herabsetzung des Kaligehaltes der Pflanzen infolge Beidüngung mit anderen Nährstoffen ohne Kali ist trotz schon geringen Gehaltes in den ungedüngten Pflanzen sehr beträchtlich. Es wird der fur einjährige Holzpflanzen anscheinend niedrigste Gehalt erreicht, der bei 0,3% oder etwas niedriger liegen mag.

Vorläufige Bewertung: ausgesprochene Kalibedürftigkeit, die am schärfsten beim Tertiärsand, aber ganz deutlich auch bei den anderen Böden in den verschiedenen Merkmalen erkennbar ist.

3. Die drei Holzarten verhalten sich bei allen Merkmalen innerhalb der Gruppen grundsätzlich gleichsinnig (Ausnahmen durch die genannten Störungen). Jedoch sind gradweise Unterschiede vorhanden. Das geringste Aneignungsvermögen für Kali und damit das größte Kalidüngerbedürfnis hat nach dem recht gleichmäßigen Verhalten bei allen Böden die Larche, während die Kiefer und ähnlich auch die Fichte ein größeres Aneignungsvermögen zu haben scheinen.

c) Die Bedürftigkeit der Böden für Phosphorsäure.

Bei geringerem Umfang der analytischen Ermittelungen als bei Prufung der Kaliverhältnisse sind Merkmale fur die Phosphorsäurebedürftigkeit:

1. Mehrerträge infolge Phosphorsäuredüngung,
2. Mehraufnahme von Phosphorsäure infolge Düngung damit,
3. Phosphorsäureaufnahme aus dem nicht mit Phosphorsäure, aber mit den anderen Nährstoffen (nur Kali und Stickstoff) gedüngten Boden,

4. Phosphorsäuregehalt der nicht mit diesem Nährstoff gedüngten Pflanzen.

Das Merkmal zu 2 hat keine brauchbaren Ergebnisse geliefert, da gerade die Böden, die im ungedüngten Zustand schon viel Phosphorsäure abgaben, nach Düngung auch besonders viel von diesem Nährstoff den Pflanzen zur Verfügung stellten.

1. Nach den meist bedeutenden Mehrerträgen infolge Phosphorsäuredüngung beurteilt, haben alle Böden ausgesprochen eine einfache Phosphorsäurebedürftigkeit. Die Erträge nach Volldüngung ohne P_2O_5 sind in den meisten Fällen nicht oder kaum höher als „ungedüngt". Hiernach starke Bedürftigkeit bei allen Böden mit Ausnahme von Ebstorf.

Nach den anderen Merkmalen 3 und 4 kann man zwei Gruppen von Böden unterscheiden:

Gruppe I mit den Böden: Basalt, Ebstorf und im Grenzfall Tonschiefer ist gekennzeichnet durch „noch" normal hohen Phosphosphorsäuregehalt von etwa 0,3 bis 0,4% der Pflanzen aus dem nicht mit P_2O_5 gedüngten Boden, sowie durch eine stärkere Phosphorsäureaufnahme aus dem gleich behandelten Boden (6 bis 11 mg P_2O_5).

Vorläufige Bewertung: zwar ausgesprochene aber nicht ungewöhnlich hohe Phosphorsäurebedurftigkeit.

Gruppe II mit den Boden: Lößlehm, Quarzit, Bausandstein, Tertiärsand und Lintzel (Grenzfall: Tonschiefer), gekennzeichnet durch wesentlich geringeren Gehalt (in vielen Fallen unter 0,2% P_2O_5) und durch sehr geringe Phosphorsäureaufnahme (0! bis 3 mg je Gefäß), beides bei dem nicht mit P_2O_5 gedüngten Boden.

Vorläufige Bewertung: ausgesprochene, starke Phosphorsaurebedurftigkeit.

Bemerkenswert das Verhalten des nur schwach anlehmigen, auch schluffarmen Diluvialsandes Ebstorf.

2. Die beiden geprüften Holzarten verhalten sich bei allen Merkmalen gleichsinnig.

d) Die Bedürftigkeit der Böden fur Stickstoff.

1. Bei diesen „Vorversuchen" ist, nach den Mehrerträgen infolge Stickstoffdüngung beurteilt, bei allen Böden mit Ausnahme des Tonschiefers eine ausgepragte Stickstoffbedürftigkeit vorhanden. Sie ist teilweise ebenso stark wie die Phosphorsäurebedurfkeit, denn die Erträge nach Volldüngung ohne N sind oft nicht oder kaum höher als die der ungedüngten Pflanzen.

Der Stickstoffgehalt der nicht mit N gedüngten oder (bei Fichte) ungedüngten Pflanzen ist unzureichend hoch und erreicht selbst nach der (schwachen) Stickstoffdüngung bei manchen Böden noch nicht den für einjährige Holzpflanzen normalen Gehalt von etwa 1,2 bis 1,5% N.

Die Böden zeigen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Ausnutzbarkeit des Bodenstickstoffs.

2. Die Holzarten verhalten sich in den Merkmalen gleichsinnig. Vorläufige Bewertung: ausgesprochene Stickstoffbedürftigkeit bei allen Böden mit Ausnahme des Tonschiefers. Besonders starke Bedürftigkeit bei den Böden: Bausandstein, Tertiärsand, Ebstorf und Lintzel.

C. Die Ergebnisse der anderen (chemischen) Prüfmethoden in ihren Beziehungen zur Standardmethode (Vegetationsversuch).

1. Gewöhnliche Nährstoffanalyse.

Salzsäurelösliches Kali, salzsäurelösliche Phosphorsäure, Gesamt-Stickstoff nach Kjeldahl.

Die nach diesen Analysen in den Böden gefundenen Nährstoffmengen entsprechen sehr weitgehend den aus dem jeweils gleichen Boden durch die Holzarten entnommenen Nährstoffmengen. Diese Proportionalität in der Löslichkeit bzw. Pflanzenaufnehmbarkeit ist besonders deutlich beim Kali (jedoch Ausnahme Basalt), ähnlich ausgeprägt bei Phosphorsäure (jedoch scharfe Ausnahme: Ebstorf). Beim Stickstoff sind zwei Ausnahmen vorhanden: Lößlehm und Bausandstein.

2. Bestimmung des löslichen (austauschbaren) Kalis nach der Ammoniumchloridmethode.

Die Übereinstimmung in der Menge des durch Austausch löslichen Kalis mit der Menge des durch die Holzarten dem Boden entzogenen Kalis ist ganz außerordentlich gut.

3. Bestimmung des löslichen Kalis nach der Methode: E. U. F.-Köttgen.

1. die Übereinstimmung mit der Standardmethode ist bei Kali recht gut. Gradweise sind bei vier Böden Abweichungen vorhanden, von denen die Zusammenfassung der Böden zu verschieden bedürftigen Gruppen aber noch nicht betroffen wird.

Die Ermittelung der Kalinachlieferung nach Köttgen gibt ebenfalls das gleiche Bild wie der Standard-Vegetationsversuch.

2. Bei der Phosphorsäurebestimmung ist die Übereinstimmung mit dem Standardversuch weniger gut. Ein Boden: Basalt liefert eine schroffe Ausnahme (starke Aufnahme durch zwei Holzarten, keine Phosphorsäure nach der E. U. F.) und die sehr phosphorsäurearmen Böden liefern nach der E. U. F. keine Phosphorsäure, wohl aber beim Pflanzenversuch.

Dies liegt wahrscheinlich aber an der Handhabung der Methode (nicht genügend lange fortgesetzte Ultrafiltration).

4. Bestimmung der löslichen Phosphorsäure nach der Zitronensäuremethode.

Die Ergebnisse stimmen gut mit der Standardmethode überein, jedoch sind gradweise bei den sehr armen Böden Abweichungen vorhanden.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Landwirtschaftlich-technischen Kalistelle durchgeführt. Ich spreche der L. T. K. auch hier meinen besten Dank aus.

Schrifttum:

1. Süchting, H., W. Jessen u. G. Maurmann: Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme junger Holzarten (Lärche, Kiefer, Fichte, Buche) in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 5, 1937, 338—374.
2. Süchting, H., W. Jessen u. G. Maurmann: Über die Wirkung der Düngung bei Waldböden, II. Ebenda, 8, 1938, 272—335.
3. Süchting, H., u. W. Jessen (Berichterstatter): Über den Einfluß der Pflanzenzahl auf den Ertrag und die Nährstoffaufnahme verschiedener Holzarten. Ebenda, 7, 1938, 14—19.

[268]

Huminsäurebestimmungen mittels Oxydimetrie.

Von **A. Hock,** München.

Eingegangen: 19. Dezember 1938.

Zur Untersuchung der Humusstoffe werden u. a. seit langem Farbmessungen und das Verhalten gegenüber oxydierenden Lösungen herangezogen. Die darauf sich gründenden Methoden sind im Laufe der letzten Jahre viel bearbeitet worden; sie stellen heute eine gute Grundlage in der Humusforschung dar.

In einer früheren Arbeit (1) erbrachten wir den Nachweis, daß Huminsäurelösungen durch die beiden Größen „Farbwertverhältnisse" und „Konzentration" gut definiert werden können. Dabei haben wir durch eingehende Untersuchungen an Huminsäurelösungen bekannter Herkunft den Weg zur experimentellen und rechnerischen Ermittlung dieser beiden charakteristischen „Wertskomponenten" aufgezeigt; als Ergebnis konnten wir nachweisen, daß aus den gemessenen Durchlässigkeits- bzw. Adsorptionswerten in den einzelnen Spektralgebieten und den daraus sich ergebenden Extinktionskoeffizienten k die Huminsäureform („Typ") errechnet werden kann. Dafür ermittelten wir den $tg\alpha$-Wert der Farbkurven- bzw. -linien und stellten eine allgemeine Formel zur Ermittlung dieses zahlenmäßigen Wertes auf:

$$tg\alpha_1 = \frac{3{,}94 \cdot \log k \ (S\ 47)}{266}$$

oder $tg\alpha_1 = 1{,}5 \cdot \log k \ (S\ 47)$ als vereinfachte Formel.

Weiterhin haben wir auf Grund von Untersuchungen an Huminsäurelösungen typischer Bodenbildungen gezeigt, daß zwischen den $tg\alpha_1$-Werten und der vorliegenden Humusform und demzufolge dem zugehörigen Bodentyp bestimmte Beziehungen bestehen.

In Ergänzung dazu wurden ferner die Huminsäure-Konzentrationsverhältnisse herangezogen und als Endergebnis eine Beziehung zwischen diesen und den Farbwerten aufgestellt. Es konnte gezeigt werden, daß die Errechnung der Konzentration c oft zu sehr großen Abweichungen führt. Der Grund hierfür liegt in den wechselnden Farbtiefen der verschiedenen Huminsäureformen je Konzentrationseinheit. Dies ist aber die Voraussetzung für die Anwendung des Beerschen Lichtabsorptions- und Konzentrationsgesetzes. Es konnten nun auf Grund unserer Untersuchungen für die Hauptbodentypen und demzufolge für deren Huminsäureformen verschiedene aber bestimmte „Konzentrationslinien" festgelegt werden. Mit Hilfe dieser ist es dann möglich, die unbekannten Konzentrationsverhältnisse vorliegender Huminsäuren zu bestimmen und zu errechnen; notwendig dazu ist, daß der Bodentyp bekannt ist, was auch durch Errechnung von $tg\alpha_1$ mit ziemlicher Sicherheit erfolgen kann. Für die Konzentrationsverhältnisse stellten wir die Formel auf:

$$tg\alpha_2 = \frac{2\ k\ (S\ 61)}{c \cdot 100}$$

Dieser Wert ist genau so charakteristisch wie der oben angeführte $tg\alpha_1$-Wert. Durch $tg\alpha_2$ ist der Verlauf der jeweiligen Konzentrationslinie festgelegt und bestimmbar. Aus beiden Werten ergibt sich ein typischer Kennwert $\frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1} \cdot 100$ („Huminsäurewert") für einen bestimmten Bodentyp.

Aus der oben angegebenen Formel $tg\alpha_2$ ist es natürlich auch möglich, c zu berechnen. Besonders ist dies sehr vorteilhaft, wenn es sich um die Ermittlung von Huminsäure-Konzentrationen von bestimmten Bodentypen usw. handelt.

Mit Hilfe dieser Formel kann man also aus den k-Werten zur Konzentration kommen und zwar unter Berücksichtigung des jeweiligen Huminsäure-„Typs".

Als weiteres Kriterium für die Humuseigenschaften dient das Verhalten Oxydationsmitteln gegenüber (Oxydationswerte). Springer (2) führte die „Permanganat- oder Sauerstoffzahl" (S. Z.) ein. Diese wird erhalten, indem die oxydimetrischen Werte — Huminsäurewerte — der Soda = oder Laugeextrakte durch die organische Substanz dividiert und mit 100 multipliziert werden. Die Oxydimetrie erfolgt mit Kaliumpermanganat (n/10) in alkalischer Lösung. Bei der alkalischen Titration ist jedoch zu beachten, daß die Oxydation oft träger als in saurer Lösung und nicht vollständig verläuft, was aus der stärkeren Gelbfärbung der Extrakte nach dem Versuch hervorgeht. Das methodische Vorgehen zur Ermittlung der „Sauerstoffzahl" hat Springer im einzelnen gut ausgearbeitet und des öfteren darüber berichtet. In alkalischer Lösung würde theoretisch 1 ccm n/10 $KMnO_4$ 0,18 mg C zu oxydieren vermögen. Auf Grund der Untersuchungen von Springer konnte jedoch mit 1 ccm $KMnO_4$ 1,176 mg acid. hum. oxydiert werden, was 0,71 mg C entspricht. Dies bedeutet, daß etwa das Vierfache des theoretischen Wertes an C oxydiert wird. (Der H in der Huminsäure, der verhältnismäßig gering ist, ist dabei nicht berücksichtigt.)

Erfolgt dagegen die Oxydation im sauren Medium, so verläuft diese bis zur farblosen Lösung. Der Umschlagspunkt ist daher auch sehr scharf. Soll daher die Permanganat-Titration auch dazu dienen, aus dem Verbrauch an Oxydationsmittel die Konzentrationsverhältnisse der Humusstoffe bzw. der Huminsäure zu berechnen, so ist der sauren Behandlung der Vorzug zu geben. Diese erfolgt sehr gleichmäßig und ist im methodischen Verlauf unter Einhaltung gewisser Bedingungen sehr exakt durchzuführen.

Simon (3) führt die Permanganat-Titration in saurer Lösung durch; er hat diese in der Ausführung gut durchgearbeitet und zwar gibt er folgende Versuchsbedingungen an: „Zu 10.0 ccm Extrakt läßt man 25,0 ccm zehntelnormal Permanganat zufließen und verdünnt mit einer Mischung von 20 ccm 2 n Schwefelsäure und 45 ccm Wasser, so daß also das Gesamtvolumen das Vierfache des vorgelegten Permanganats beträgt und die Konzentration der Schwefelsäure knapp halbnormal ist. (Bei alkalischen Extrakten und solchen, die Azetate enthalten, ist das Verhältnis Schwefelsäure : Wasser ungefähr ausgleichend abzuändern.) Anschließend wird sofort in einem siedenden Wasserbade genau 15 Minuten erhitzt, danach mit leicht überschüssiger Oxalsäure entfärbt und nach kurzem Stehen noch gut warm mit Permanganat zurücktitriert. Der Gesamtverbrauch an Permanganat soll dann ungefähr bei dem 5. Teil des vorgelegten Permanganats liegen, also hier zwischen 3,0 und 7,0 ccm; andernfalls ist die Bestimmung mit einer passenderen Menge Extrakt oder einer entsprechenderen Vorlage an Permanganat zu wiederholen. Durch Blindbestimmungen ist zu prüfen, daß die bei der Extraktion und bei der Verdünnung der Extrakte angewandten Flüssigkeiten wie auch die bei der Oxydation selbst gebrauchte Schwefelsäure und das Wasser nicht etwa durch reduzierende Stoffe verunreinigt sind. Normalerweise bleibt der Blindversuch bei obiger Durchführung unter 0,3 ccm, steigt aber bei zu stark schwefelsaurer Einstellung ganz erheblich."

Nach Simon (4) „entspricht der Oxydationswert der Verbrennungswärme, steht daher in logischer Verbindung mit dem biologischen belangreichen Energiewert". Die Permanganat-Titrationswerte benützt er zur Berechnung des „Relativen Farbwertes" (R. F.), des „Fällbarkeitsquotienten" (P. Q.) sowie des „Huminsäurequotienten" (H. Q.). Diese 3 Werte, die aufgebaut sind auf den Farb- und Oxydationswerten, ergeben nach Simon gute Einblicke in das Wesentliche von Humusstoffen.

Souci (5) gibt als Arbeitsvorschrift für die Permanganat-Titration eine ähnliche an, wie die oben von Simon erwähnte: Er verwendet bei sonst gleichen Verhältnissen statt 25 ccm n/10 $KMnO_4$ nur 20 ccm und gegenüber einer 2 n H_2SO_4 (rund 10%) eine 20%ige Säure. Die Erhitzungsdauer auf dem Wasserbad ist die gleiche (15 Minuten).

Souci gibt dann eine allgemeine Formel zur Errechnung des Huminsäuregehaltes an, in dem er als durchschnittlichen Wert für 1 ccm n/10 $KMnO_4$ eine Huminsäuremenge von 0,0008545 g annimmt. Dies würde einer C-Menge von 0,5 mg entsprechen.

Andere Arbeiten über die Bestimmung des Huminsäuregehaltes bzw. des Humus selbst mittels $KMnO_4$ stützen sich auf die Titration in alkalischem wie auch in saurem Medium. So berichtet Krenlen (6) über die Bestimmung des Huminsäuregehaltes verdünnter Lösungen, indem er in H_2SO_4-Lösung arbeitet und mit sehr verdünnter $KMnO_4$-Lösung (n/100) oxydiert.

Aschmann und Faber (7) sowie Fallot (8) nehmen zur Ermittlung des Humus im Boden die alkalische Titration.

Alten (9) hat jedoch gezeigt, daß zur Bestimmung des organischen Anteils in Böden, also nicht in Bodenextrakten, die Permanganatmethode wenig zuverlässige Werte gibt, da kein allgemein gültiger C-Faktor errechnet bzw. ermittelt werden kann. Er wies nach, daß die End-Oxydationsprodukte nicht einheitlich sind und von den Versuchsbedingungen stark abhängen. Daher schlägt er eine andere titrimetrische Methode vor und zwar die mit Chromschwefelsäure. Diese ergibt brauchbare und vergleichbare C-Werte, die mit den Ergebnissen der nassen Verbrennung und der Elementaranalyse gut übereinstimmen. Als C-Faktor kann hier der theoretische Wert von 0,3 (1 ccm n/10 Bichromat entspricht 0,3 mg C) bzw. 0,518 für Humus genommen werden.

Von Nostiz (10) hat gefunden, daß sich das Permanganatverfahren bei den Schwarzerden vom bodenkundlichen Standpunkt aus bewährt, weniger aber bei den übrigen Böden, namentlich nicht bei den Moorböden. Allerdings muß erwähnt werden, daß von Nostiz keinen Vergleich der titrimetrischen C-Werte mit denen der Verbrennungsmethode angestellt und gezogen hat; er untersucht nur den Einfluß anderer Bodenbestandteile wie Fe, Mn, $CaCO_3$ auf den Permanganatverbrauch; ferner wurden die Böden einer mehrmaligen Behandlung mit $KMnO_4$ unterzogen. Er fand, daß ein Einfluß von kohlensaurem Kalk deutlich nachzuweisen war und daher diese Methode für sehr stark kalkhaltige Böden weniger geeignet zu sein scheint. Ferner „stellte sich als notwendig heraus, mit der gleichen Bodenprobe die $KMnO_4$-Behandlung selbst dann zu wiederholen, wenn bei dem ersten Versuch weniger als ein Drittel der angewandten Permanganatmenge verbraucht worden war."

Von Nostiz hält sich im methodischen Vorgehen an das von Crowther im I. Bericht des „Organic Carbon Committee" (12) bekanntgegebene Verfahren und benützt auch den Faktor von 0,51 (1 ccm n/10 $KMnO_4$ = 0,51 mg C).

Auf Grund unserer eigenen Arbeiten fanden wir, daß für die Humusbestimmung in Böden weniger die Permanganatmethode, vielmehr aber das von Alten ausgearbeitete Verfahren mittels Chromschwefelsäure sich eignet. Darüber hinaus kann aber die $KMnO_4$-Titration bei Humusextrakten, vor allem bei der Untersuchung von Huminsäurelösungen, mit besonderem Vorteil herangezogen werden. Dabei zeigte sich, daß hier der Reduktionswert eine gut reproduzierbare Größe für die Konzentrationsberechnung darstellt.

Wir haben bei unseren Arbeiten die oben angeführte Simonsche Arbeitsmethode benützt und sind zu sehr guten und brauchbaren Ergebnissen gekommen.

Wichtig ist dabei, daß die Konzentrationsverhältnisse der Permanganatlösung sowie der H_2SO_4 in der Versuchslösung konstant sind, und daß auch die Huminsäurekonzentration sich innerhalb gewisser Grenzen bewegt. Ferner sind die Temperaturverhältnisse und die Versuchsdauer konstant zu halten. Werden

diese Voraussetzungen nicht eingehalten, so erhält man schwankende Vergleichswerte, bei sonst sehr guter Übereinstimmung.

Der Permanganatverbrauch der Bodenextrakte selbst gibt nur einen allgemeinen Anhaltspunkt über die vorliegenden Humusverhältnisse. Aus nachstehender Zusammenstellung (Tabelle 1) sind eine Reihe dieser Werte für NaF-, NaOH-Auszüge von typischen Bodenbildungen zu entnehmen. Ferner sind auch die Ergebnisse für einige Fulvosäuren angeführt.

Tabelle 1.

Permanganatverbrauch von Bodenauszügen.

Boden Nr.	Bodentyp und Bodenart	Verbrauch an n/10 $KMnO_4$ in ccm					
		der NaF-Extraktion 1 : 5		der NaOH-Extraktion 1 : 10			
				ohne Vorbehandlung		nach HCl-Vorbehandlung	
		für 10 ccm Extrakt	für 10 ccm Fulvosäure	für 10 ccm Extrakt	für 10 ccm Fulvosäure	für 10 ccm Extrakt	für 10 ccm Fulvosäure
1	Schwarzerde-L	21,0		5,8		19,0	
2	Schwarzerde-L	12,8		4,3		15,2	
3	Schwarzerde-L	9,8		9,3		22,8	
4	Braun. Steppenboden-L	6,5	2,4				
5	Braun. Steppenboden-L	19,7	6,2				
6	Braunerde-L	5,5		9,5		14,1	
7	Braunerde-L	11,7	4,6				
8	Braunerde-L	7,5		10,0		15,0	
9	DegradierteBraunerde-L	14,9	7,1				
10	Braunerde, lehmig-tonig	15,5	5,8				
11	DegradierteBraunerde-L	12,8	5,6				
12	DegradierteBraunerde-L	15,0	5,8				
13	Sandige Braunerde-SL	19,7	4,0				
14	Hum. lehmiger Sand	12,4	4,9				
15	Hum. anlehm. Sand Sl	12,4	3,7				
16	Hum. Sand	10,6	4,2				
17	Hum. Sand	42,0	7,1	42,9	13,2	27,7	9,3
18	Hum. lehm. Sand lS	17,5	5,4				
19	Podsol-S	54,5	43,0	32,0	26,2	8,4	4,8
20	Podsol-S	16,5		8,7		2,1	

Ein klares Bild über die Reduktionsgröße in Beziehung zum vorliegenden Bodentyp ergibt sich aber aus den obigen Zahlen nicht; dazu ist es notwendig, die Konzentrationsverhältnisse der einzelnen Bodenauszüge an organischer Substanz (%C) zu ermitteln und alle Permanganatwerte auf eine Konzentrationseinheit zu beziehen. Erst dann zeigt sich, daß die so erhaltenen Ergebnisse mehr auszusagen vermögen. In Tabelle 2 sind eine Anzahl von Böden aus obiger Aufstellung herausgenommen, und die Beziehungen zur jeweiligen C-Konzentration der Humusstoffe im Bodenauszug hergestellt. Die C-Bestimmungen wurden durch die Verbrennungsanalyse ermittelt.

Tabelle 2.
Permanganatverbrauch von Bodenauszügen in Beziehung zur C-Konzentration der Lösung.

Boden Nr.	Bodentyp und Bodenart	Verbrauch an n/10 $KMnO_4$ in ccm; für 100 mg C der Lösung			
		NaF-Extraktion 1 : 5		NaOH-Extraktion 1 : 10	
				ohne Vorbehandlung	nach HCl-Vorbehandl.
		Boden-Extrakt	Fulvosäure	Boden-Extrakt	
1	Schwarzerde-L	181,0		201,5	184,4
2	Schwarzerde-L	173,0		195,5	200,0
3	Schwarzerde-L	204,1		175,5	201,8
4	Braun. Steppenboden-L	192,3	220,2		
5	Braun. Steppenboden-L	195,6	158,6		
6	Braunerde-L	183,3		186,3	210,5
7	Braunerde-L	167,4	122,7		
8	Braunerde-L	220,6		238,0	212,0
9	Degradierte Braunerde-L	194,8	172,3		
13	Sandige Braunerde-SL	227,0	123,8		
16	Hum. Sand	196,7	178,0		
17	Hum. Sand	172,2	164,0		
19	Podsol-S	166,7	193,7		
20	Podsol-S	217,1		187,0	230,0

Es zeigt sich, daß pro Konzentrationseinheit (angegeben für 100 mg C) die erhaltenen Permanganatwerte der Bodenextrakte ziemlich um den Wert 200 zusammenrücken und im Gegensatz zu den Streuungen der Tabelle 1 ein einheitlicheres Bild liefern. Immerhin kommen bei einzelnen Böden relativ größere Abweichungen vor. Im allgemeinen sind die vorkommenden Streuungen aber gering und ergeben sich zum Teil auch durch die Umrechnungen der Analysendaten von wesentlich geringeren Ausgangsmengen auf die Vergleichsbasis 100 mg C.

Es zeigt sich aber, daß die Schwankungen in der Hauptsache durch die in den Bodenauszügen enthaltenen und bei der Titration miterfaßten Fulvosäuren wesentlich bedingt werden. Denn die Permanganatzahlen der Fulvosäuren zeigen pro Konzentrationseinheit eine größere Streuung. Da der Anteil je nach Bodentyp und demzufolge der entsprechenden Humusform mengenmäßig verschieden ist, sind auch die Abweichungen in den Bodenextrakten mehr oder weniger groß. Springer hat bei seiner „Sauerstoffzahl“ermittlung auch nur die Titrationswerte der Bodenauszüge — einschließlich der Fulvosäuren — zur Grundlage genommen; ferner bezieht er die errechneten Huminsäurewerte auf ein Standardpräparat (acid. hum.). Daß hierbei oft größere Schwankungen vorkommen können, ergibt sich daraus, daß der %-Anteil an Fulvosäuren und Huminsäurestoffen der zu untersuchenden Bodenauszüge nicht übereinstimmt mit den entsprechenden Verhältnissen bei acid. hum.

Tabelle 3. Farb- und Oxydationswerte von Bodenextrakten je Konzentrationseinheit C.

Boden Nr.	Bodentyp und Bodenart	Farbwerte: k-Werte des Boden-Extraktes S 72	S 61	S 53	S 47	Farbtiefe des Boden-Extraktes auf eine Konz. von 100 mg C der Lösung bezogen: k S 53	Verhältniszahl	Farbtonwert S 47:S 72	S 47:S 61	KMnO$_4$-Werte: n/10 KMnO$_4$ in ccm für 10 ccm Extrakt	für eine Konz. von 100 mg C des Extraktes	Verhältniszahl
	0,5 % NaF 1 : 5.											
1	Schwarzerde-L	2,844	6,276	10,633	16,164	1,833	100	5,7	2,6	21,0	181,0	100
2	Schwarzerde-L	1,508	3,080	5,592	8,960	1,512	82,5	5,9	2,9	12,8	173,0	95,6
6	Braunerde-L	0,458	1,018	1,842	3,076	1,083	59,1	6,7	3,0	7,5	220,6	121,9
8	Braunerde-L	0,125	0,347	0,783	1,420	0,522	28,5	11,4	4,1	5,5	183,3	101,3
19	Podsol-S	0,284	1,876	5,204	14,592	0,385	21,0	51,4	7,8	36,0	133,3	73,6
20	Podsol-S	0,204	0,888	2,208	4,388	0,581	31,7	21,5	4,9	16,5	217,1	119,9
	0,5 % NaOH 1 : 10.											
1	Schwarzerde-L	0,038	0,178	0,412	0,849	0,142	100	22,3	4,8	5,8	201,7	100
2	Schwarzerde-L	0,014	0,074	0,207	0,449	0,094	66,2	32,1	6,1	4,3	195,0	96,9
6	Braunerde-L	0,051	0,268	0,678	1,398	0,133	93,7	27,4	5,2	9,5	186,3	92,4
8	Braunerde-L	0,097	0,268	0,569	1,222	0,135	95,1	12,6	4,6	10,0	238,0	118,0
19	Podsol-S	0,264	1,548	4,000	9,000	0,251	176,8	34,1	5,8	29,0	182,4	90,4
20	Podsol-S	0,132	0,520	1,204	2,602	0,261	183,8	19,7	5,0	8,6	187,0	92,7
	0,5 % NaOH 1 : 10 nach HCl-Vorbehandlung.											
1	Schwarzerde-L	3,425	6,476	10,280	16,770	0,998	100	4,9	2,6	19,0	184,4	100
2	Schwarzerde-L	2,284	4,839	8,122	12,890	1,069	107,1	5,6	2,7	15,2	200,0	108,5
6	Braunerde-L	0,749	1,540	2,818	4,455	0,420	42,1	5,9	2,9	14,1	210,5	114,2
8	Braunerde-L	1,039	2,266	3,763	6,238	0,530	53,1	6,0	2,7	15,0	212,0	115,0
19	Podsol-S	0,191	0,945	1,857	3,523	0,688	68,9	18,4	3,7	8,7	324,0	175,7
20	Podsol-S	0,055	0,279	0,543	1,080	0,602	60,3	19,6	3,9	2,1	230,0	124,7

Daraus folgt, daß die Oxydationszahlen (Reduktionswert der organischen Substanz) von Bodenextrakten verschiedener Humusstoffe ungefähr gleich sind. Die wechselnden Permanganatwerte einer gleichen Menge Bodenextrakt (z. B. 10 ccm) sind also in erster Linie nichts anderes als Unterschiede in der Huminsäure- bzw. C-Konzentration dieser Lösung. Daneben spielen dann noch die in verschiedenen Anteilen vorliegenden Fulvosäuren mit. Ferner ergibt sich, daß diese Werte je Konzentrationseinheit von Humussubstanz ziemlich zusammenfallen und nicht von der Humusform oder dem Bodentyp abhängen, im Gegensatz zu den entsprechenden Farbwerten (Farbtiefe und Farbton); diese werden vor allem von dem vorliegenden Humustyp beeinflußt (Farbtonwert). Diese Verhältnisse zeigen einige Beispiele von charakteristischen Böden (Tabelle 3).

Die Permanganatzahlen der Bodenauszüge sind daher kein Kriterium für die Art und Form der betreffenden Humuslösung, sondern geben nur Auskunft über die jeweilige Konzentration. Hinsichtlich der Fulvosäuren ergibt sich, daß die Permanganatzahlen in der gleichen Konzentration gegenüber den Humusextrakten stärker schwanken und im allgemeinen relativ niedriger liegen.

Tabelle 4.

Permanganatverbrauch von Boden-Extrakten, Huminsäure Gel und Fulvosäure.

Boden Nr.	Bodentyp und Bodenart	Anteile in % des Boden-Extraktes (ermittelt durch C-Bestimmung)		Verbrauch an n/10 $KMnO_4$ in ccm für 100 mg C		
		Humin-säureGel	Fulvo-säure	d.Boden-Extrakt.	d. Humin-säure Gels	d. Fulvo-säure
1	Schwarzerde-L	86,2	13,8	176,3	190,2	105,6
2	Schwarzerde-L	82,6	17,4	202,0	210,9	125,8
4	Braun. Steppenboden-L	61,2	38,8	192,3	186,0	220,2
5	Braun. Steppenboden-L	56,8	43,2	195,6	217,8	158,6
6	Braunerde-L	51,2	48,8	159,7	185,1	107,8
7	Braunerde-L	54,9	45,1	167,4	192,7	122,7
9	Degradierte Braunerde-L	51,6	48,4	194,8	202,8	172,3
10	Braunerde, lehmig-tonig	63,2	36,8	177,1	191,7	219,7
11	Degradierte Braunerde-L	42,7	57,3	136,6	210,0	120,4
14	Humiert. lehmiger Sand	66,5	33,5	169,7	171,8	168,4
15	Humiert. anlehm. Sand Sl	59,2	40,8	153,1	187,5	144,5
16	Humierter Sand	64,7	35,3	196,7	174,8	178,0
17	Humierter Sand	76,2	23,8	172,2	200,6	164,0
18	Humiert. lehmig. Sand lS	70,6	29,4	187,4	195,5	186,2
19	Podol-S	25,7	74,3	166,7	190,5	193,7

Aus Tabelle 4 ergeben sich die Permanganatwerte für den Bodenextrakt, das Huminsäuregel und die entsprechende Fulvosäurelösung von einigen typischen Böden; dabei sind auch die

%-Anteile des Huminsäure Gels und der Fulvosäure im jeweiligen Bodenextrakt angeführt. Dieses Mengenverhältnis wurde auf Grund des durch Untersuchungen bestimmten C-Gehaltes errechnet. Die Fulvosäureanteile im Verhältnis zur Huminsäure schwanken sehr stark. Bei den Schwarzerden sind nur geringe Mengen festgestellt worden (14—17%), bei den Braunerden im allgemeinen zwischen 40 und 50%, während beim Podsol sogar rund 3/4 der organischen Humusstoffe des Bodenauszuges zur Fulvosäuregruppe gehören (74%).

Bestimmt man daher die Permanganatzahlen getrennt in der Huminsäure- und Fulvosäurelösung, so kommt man zu einem besseren und klareren Bild. Im Mittel der angeführten Versuche ergibt sich folgendes:

	n/10 $KMnO_4$ f. 100 mg C d.Lös.	1 ccm $KMnO_4$ entspr.
Bodenauszug:	176	0,57 mg C
Huminsäure-Lsg.	194	0,51 mg C
Fulvosäure-Lsg.	159	0,63 mg C

Während also die Beziehungen der Permanganatzahlen zur C-Konzentration der Lösung bei gewöhnlichen Bodenauszügen durch die Miterfassung der Fulvosäuren, mehr oder weniger

Tabelle 5.

Permanganatwerte von Huminsäure-Lösungen von Präparaten.

Bodentyp und Bodenart	Extraktions-mittel	Fällungs-mittel	Verbrauch an ccm n/10 $KMnO_4$ für 5 mg Präparat
	0,5% NaOH		
Schwarzerde	NaF	H_2SO_4	6,09
Schwarzerde	NaF	H_2SO_4	6,04
st. hum. Braunerde	$Na_2C_2O_4$	HCl	5,79
st. hum. Braunerde	$Na_2C_2O_4$	HCl	5,98
Braunerde	NaF	H_2SO_4	5,87
Braunerde	NaF	H_2SO_4	5,95
Braunerde	NaF	HCl	5,97
Hum. Sand	$Na_2C_2O_4$	HCl	5,70
Hum. Sand	NaF	H_2SO_4	5,80
rh Sand	NaF	H_2SO_4	5,96
Podsolboden	NaF	HCl	6,14
Podsolboden	NaF	H_3SO_4	5,88
	Na_2HPO_4		
Schwarzerde	NaF	H_2SO_4	6,07
Schwarzerde	NaF	H_2SO_4	6,01
st. hum. Braunerde	NaF	H_2SO_4	5,80
Braunerde	NaF	H_2SO_4	5,74
rh Sand	NaF	H_2SO_4	5,84
Podsolboden	NaF	H_2SO_4	5,80

stark beeinflußt werden, muß sich dieses Bild bei den Huminsäuren und deren Teilkomponenten (eigentliche Huminsäuren und Hymatomelansäuren) klarer heraus stellen. Einige Beispiele der von uns durchgeführten Versuche enthält Tabelle 5.

Es folgt daraus, das für reine Huminsäurelösungen die Permanganatzahlen in direkter Beziehung stehen zur Konzentration. 100 mg C entsprechen hier im Durchschnitt aller Versuche 203,8 ccm n/10 $KMnO_4$ bzw. 1 g C = 203,8 ccm n/1 $KMnO_4$. Bei Außerachtlassung der etwas zu hoch liegenden Werte (über 6 ccm n/10 $KMnO_4$ in der Tabelle) ergibt sich im Mittel 202 ccm n/10 $KMnO_4$.

Daraus errechnet sich: für 1 ccm n/1 $KMnO_4$ eine C-Menge von 4,9 bzw. 4,95 oder rund 5 mg oder für 1 ccm n/10 $KMnO_4$ eine solche von rund 0,5 mg C bzw. 0,495 g C.

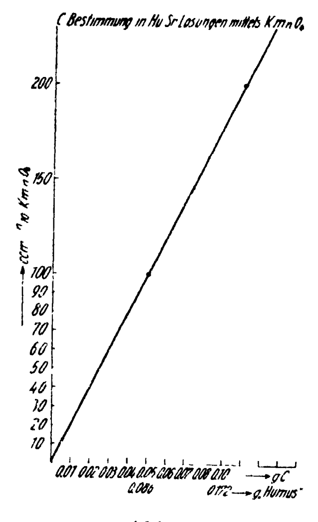


Abb. 1.

Nach den Ergebnissen der Tabelle 4 hat sich für das Huminsäuregel eine Menge von 0,51 mg C für 1 ccm n/10 $KMnO_4$ ergeben.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann eine lineare Konzentrationskurve aufgestellt werden, aus der die zu einer ermittelten Permanganatzahl zugehörige C-Menge bzw. Huminsäure (Humus) einer Lösung abgelesen werden kann.

Der von uns ermittelte Wert würde dem im ersten Bericht des „Organie Carbon Comitee" angegebene Faktor 0,51 gut entsprechen; ebenso stimmt unser Wert mit dem von Souci (5) ermittelten Faktor — 1 ccm n/10 $KMnO_4$ entspricht 0,8545 mg Humus bzw. 0,5 mg C — überein.

Vageler (11) hat bei der Bestimmung der organischen Substanz im Boden bei der Benützung von Permanganat statt des

theoretischen Wertes 0,3 einen Faktor von 0,6 (also die doppelte Größe) angenommen. Dieser Wert scheint ebenfalls empirisch zu sein.

Theoretisch wäre bei der sauren Permanganattitration der Faktor 0,3; d. h. 1 ccm n/10 $KMnO_4$ müßte 0,3 mg entsprechen. Daraus folgt, daß die Oxydation von Humuslösungen nicht bis zum CO_2 geht, sondern bei einer Zwischenphase stehen bleibt. Alten (9) hat bei seinen titrimetrischen Untersuchungen der direkten Humusbestimmung in Böden gefunden, daß bei der Oxydation mittels $KMnO_4$ Kohlensäure nur zum kleineren Teil auftritt, während in der Hauptsache Ameisensäure und verschiedene Aldehyde entweichen, letztere teilweise auch neben Essigsäure, Propionsäure und anderen Kohlenstoffträgern im Reaktionsgefäß zurückbleiben.

Hält man aber die Versuchsbedingungen genau ein, wie oben angeführt, so ergeben sich trotz dieser Tatsache für Huminsäurelösungen stets konstante Werte, die unabhängig sind von der Natur der Huminsäuren selbst. Der empirisch ermittelte Faktor ist genau genug, um damit quantitative Huminsäurebestimmungen ausführen zu können.

Bei diesem C-Faktor von 0,51 ist auffallend, daß er mit dem aus dem theoretischen C-Wert von 0,3 sich ergebenden Huminsäurewert ($0{,}3 \cdot 1{,}72 = 0{,}51$) zusammenfällt. Ob dies Zufall ist, mag vorerst dahingestellt bleiben.

Zusammenfassung.

1. Es werden die Zusammenhänge zwischen Konzentration der Humusstoffe in Bodenauszügen einschließlich der Fulvosäuren, in Huminsäurelösungen (Huminsäuren und Hymatomelansäuren) hinsichtlich des Verhaltens Permanganatlösung gegenüber untersucht.

2. Die Permanganatwerte pro Konzentrationseinheit ergeben für Bodenauszüge (ohne Entfernung der Fulvosäuren) zum Teil größere Schwankungen. Dagegen liegen diese Ergebnisse für das Huminsäuregel nach Entfernung der Fulvosäure ziemlich konstant. Die Fulvosäuren zeigen größere Streuungen nach dieser Richtung.

3. Weiterhin konnte gezeigt werden, daß bei reinen Huminsäurelösungen direkte Beziehungen zwischen Konzentration und Permanganatverbrauch bestehen. Dabei ist die Einhaltung bestimmter methodischer Voraussetzungen zur Erzielung einwandfreier und vergleichbarer Werte unbedingt erforderlich.

4. Die Oxydimetrie mittels $KMnO_4$ eignet sich daher zur C-Bestimmung in Huminsäurelösungen. Als Faktor wurde durch eigene Versuche 0,50 (1 ccm $KMnO_4$ entsprechend 0,8 mg C) ermittelt.

5. Diese Permanganatwerte sind unabhängig von der Humusform in Böden.

Schrifttum:

1. Hock, A.: Beziehungen zwischen Konzentration und Farbwerten von Huminsäurelösungen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 7, 1938, 99—117.
2. Springer, U.: Die Bestimmung der organischen, insbesondere der humifizierten Substanz im Boden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, 11, 1938, 313—359. Sowie: Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Ebenda, A, 22, 1931, 135—152.
3. Simon, K.: Die charakteristischen Humusstoffe, ihre Beurteilung und ihre Bedeutung im Stalldünger. Bodenkunde u. Pflanzernähr. Berlin, 1, 1936, 257—301.
4. Simon, K., u. H. Speichermann: Beiträge zur Humusuntersuchungsmethodik. Ebenda, 8, 1938, 129—152.
5. Souci, S. W.: Die Chemie des Moores. F. Enke, Stuttgart, 1938.
6. Kreulen, J. W.: Die Bestimmung des Huminsäuregehaltes verdünnter Lösungen mittels Kaliumpermanganat. Brennstoff-Chemie, 12, 1931, 265.
7. Aschmann, C., u. H. Faber: Zur Bestimmung der Humussubstanz in der Ackererde. Chemiker-Ztg. Köthen, 23, 1899, 61.
8. Fallot, B.: Humus und Humifizierung. Über ein Verfahren zur Bestimmung des Humus in Böden. Chemie et Industrie, 11, 1924, 873.
9. Alten, F., B. Wandronsky, u. E. Knippenberg: Beitrag zur Humusbestimmung. Ergebn. d. Agrikulturchemie, Berlin, 4, 1935, 61—69.
10. von Nostitz, A.: Zur Humusbestimmung vermittels Kaliumpermanganat. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 1, 1936, 95—101.
11. Vageler, P., u. F. Alten: Böden des Nil und Gasch. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, 22, 1931, 49.
12. Transactions of the Third Int. Congress of Soil Science, 1, Thomas Murby u. Co. London, 1935.

[263]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Bodenkunde und Pflanzenernährung, 13. (58.) Band, Heft 3/4.

Zur Mitscherlichschen Ertragsgleichung.

Von **O. W. Willcox,** USA.

Eingegangen: 15. Dezember 1937.

Das 1909 erstmalig ausgesprochene Mitscherlichsche Wachstumsgesetz ist nunmehr von den meisten Vertretern der angewandten Pflanzenbiologie anerkannt. Es sind „Mitscherlich-Stationen" in Deutschland, Frankreich, Italien, in der Tschechoslowakei, Rumänien und in anderen Ländern in Tätigkeit. Das hervorstehendste Beispiel unter dem Amerikanischen Banner ist die Mitscherlich-Station der Zucker-Pflanzer-Genossenschaft von Hawaii zu Honolulu.

Nach Mitscherlich hat jeder Pflanzenwachstumsfaktor einen völlig bestimmten Wirkungsfaktor, der von Zeit, Ort oder irgendwelcher Beschaffenheit des Bodens, des Klimas oder der Anbaubedingungen und ebenso auch von der Natur der Pflanze selbst unabhängig ist.

$$\frac{dy}{dx} = (A-y)\,c \qquad (1)$$

worin dy der Wachstumszuwachs beim Anwachsen des Wachstumsfaktors x um dx, A der Höchstertrag, den y beim Anwachsen von x ins Unendliche erreicht, und c der konstante Wirkungsfaktor des Wachstumsfaktors x ist.

Noch immer gibt es einige Pflanzenbiologen, die Zweifel an der Zuverlässigkeit des Mitscherlichschen Theorems hegen. Ohne diesen Skeptikern irgend eine Konzession zu machen, ist in Vorliegendem beabsichtigt zu zeigen, daß die Mitscherlichsche Ertragsgleichung — gleichgültig, ob sie zutrifft oder nicht — einige rein mathematische Folgerungen in sich trägt, die durchweg von ihren Freunden und bis jetzt sogar von Mitscherlich selbst übersehen worden sind.

In einer integrierten Form stellt sich die Gleichung (1) dar als

$$y = A_1\,(1-10^{-c_1 x_1}) \qquad (2)$$

woraus man erkennen mag, wie der Ertrag y einer Kulturpflanze unter dem Einflusse eines allein variablen Wachstumsfaktors x_1, der einen charakteristischen Wirkungsfaktor c_1 hat, anwächst. Wenn außer dem Wachstumsfaktor x_1 noch ein weiterer Wachstumsfaktor x_2 mit dem Wirkungsfaktor c_2 vorhanden ist, der den Ertrag

$$y = A_2\,(1-10^{-c_2 x_2}),$$

zu erbringen vermöchte, so können wir den Ertrag A_1 als die Variable des Wachstumsfaktors x_2 ansehen und für den kombinierten Effekt der beiden variablen Wachstumsfaktoren schreiben

$$y = A_2\,(1-10^{-c_1 x_1})\,(1-10^{-c_2 x_2}).$$

Wenn schließlich n veränderliche Wachstumsfaktoren mit n verschiedenen Wirkungsfaktoren, vorhanden sind, so wird das kombinierte Resultat zum Ausdruck gelangen durch

$$y = A_n \, (1-10^{-c_1 x_1}) \, (1-10^{-c_2 x_2}) \ldots . (1-10^{c_n x_n}) \qquad (3)$$

Insoweit hat die ursprüngliche Mitscherlich-Schule das Mathematische des Wirkungsgesetzes entwickelt. Schon so wird das Mitscherlich-Gesetz (abgesehen von den oben erwähnten Skeptikern) als ein erfolgreiches Mittel zur Erforschung der mathematischen Beziehungen zwischen den Pflanzen und den äußeren Faktoren ihres Wachstums angesehen. In einer anderen ihrer Integrationsformen stellt sich die Gleichung (1) dar als

$$\log (100 - y) = 2 - c \cdot x \qquad (4),$$

worin die Zahl 100 hundert Prozent des möglichen Höchstertrages bedeutet, den y erreicht, wenn der einzelne Wachstumsfaktor x ohne Grenze anwächst. Gemäß Mitscherlich ist der Wirkungsfaktor des Stickstoffwachstumsfaktors c = 0,122; bei Einsetzung dieses Wertes für c in Gleichung (4) und bei Einsetzung von Werten 1—10 für x erhalten wir die folgenden Abhängigkeitswerte für x und y [in Gleichung (4)], wobei alles auf Hektar und auf dz als Einheiten bezogen ist:

Prozentuale Ertrags-Tabelle.

y in % des Höchst-Ertrages	x in dz/ha
50	2,5
75	5,0
87,5	7,5
93,75	10,0
96,875	12,5
98,437	15,0
99,218	17,5
99,609	20,0
99,99	25,0

Aus dieser Tafel erhellt, daß es um 50% des der Pflanze innewohnenden Leistungsvermögens herauszuholen, erforderlich ist, dem Boden aufnehmbaren Stickstoff in Höhe von 2,5 dz/ha darzubieten. Eine weitere Betrachtung der Tabelle zeigt, daß die doppelte Stickstoffmenge den Ertrag nicht verdoppelt, sondern ihn nur bis zu 75% des Maximums erhöht; die verdreifachte Gabe bewirkt bloß 87,5% des Maximums, die vervierfachte nur 93,75% und so weiter, bis 25 dz/ha erforderlich sind, um 99,99% zu erzielen, was für alle Fälle der Praxis als 100% des Maximums anzusehen ist.

Sobald der Betrag des aufnehmbaren Bodenstickstoffs durch den Mitscherlich-Versuch oder sonstwie bestimmt ist, wird angenommen, daß die hier aufgezeigten Beziehungen es ermöglichen, voraus zu sagen, welcher Prozentsatz des Maximumernteertrages zu erzielen wäre, insofern als die Ernte vom Stickstoffaktor abhängig ist oder wie man einen bestimmten Prozentsatz des Höchstertrages erreichen kann, indem man die entsprechende Stickstoffgabe verabfolgt.

Ohne den praktischen Wert dieses in zahlreichen vorhandenen Mitscherlich-Stationen ausgeübten Verfahrens in Frage zu stellen, ist zu bemerken, daß das Verfahren, so weit es bisher entwickelt ist, dem Schauspiel Hamlet ohne Hamlet ähnelt. Gleichgültig, ob bei der Untersuchung nach Mitscherlich von den Gleichungen (2), (3) oder (4) Gebrauch gemacht wird, der Wert von y ergibt sich in jedem Falle als Prozentzahl. Nun ist es eine von allen Pflanzenbiologen anerkannte Tatsache, daß das Wachstum und der Ertrag einer Pflanze nicht nur durch die äußeren Verhältnisse allein beeinflußt wird; die Kräfte und Leistungen des Pflanzenlebens sind nicht außen — sondern innenbedingt. Die Vorgänge des Pflanzenwachstums mögen durch Fremdstoffe eingeleitet und in Gang gehalten werden, doch in welchem Ausmaße diese Fremdstoffe in vegetabilische Substanz umgewandelt werden, wird nur von der Wesensart der Pflanze selbst bestimmt. Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß von zwei an demselben Standort wachsenden Pflanzenarten die eine mehr Trockensubstanz erzeugt als die andere. Mit anderen Worten, vom Standpunkt des Mengenertrages gibt es minder- oder höherwertige Sorten, und es ist das Ziel der Pflanzenzüchter der ganzen Welt, minderwertige durch solche von der Natur besser bedachte Sorten zu ersetzen, um die äußeren Faktoren des Pflanzenwachstums mehr zur Geltung bringen zu können.

Wenn die Gleichungen (1) oder (3) also auch nützliche Dienste leisten bei der Erkundung, welcher Prozentsatz des totalen „Lebensquantums" der Pflanze durch einen Wachstumsfaktor oder eine Zusammenwirkung von Wachstumsfaktoren hervorgerufen wird, vermag man diesen Prozentsatz nicht in Gewichtsmengen zu übertragen, wenn wir nicht die Höchstertragsfähigkeit der betreffenden Pflanzen kennen.

Um eine mathematische Formel zu gewinnen, die einen vollständigen quantitativen Ausdruck der Resultate des Zusammenwirkens der inneren und äußeren Faktoren des Pflanzenwachstums ergibt, wollen wir in Gleichung (3) einen Faktor Q einführen, der den wirklichen Wert des inneren Lebensfaktors darstellt, nämlich:

$$y = Q\,(1-10^{-c_1 x_1})\,(1-10^{-c_2 x_2}) \qquad (1-10^{-c_n x_n} \qquad (5)$$

Q ist hier definiert als die Höchstmenge an Trockensubstanz, in dz pro ha, die irgend eine Pflanze unter dem vollen Einfluß von allen bekannten oder unbekannten äußeren Wachstumsfaktoren erzeugen kann.

Einen bestimmten Wert für den möglichen Höchstertrag jeder der vielen Pflanzenarten oder der verschiedenen Pflanzensorten, die für den Landwirt oder Gärtner von Interesse sind, zu erhalten, mag als hoffnungsloses Unterfangen erscheinen. Man erkennt sofort, daß Q experimentell nur durch Herstellung von Wachstumsbedingungen bestimmt werden kann, unter denen jeder mögliche Wachstumsfaktor in dem durch die Gleichung (4) bestimmten optimalen Betrage enthalten ist. In welch einem

solchen Medium müssen die Pflanzen zur vollen Entwicklung ihrer Lebenskraft gelangen, so daß Q sich aus dem Gewicht der Ernte ergibt. Indessen sind einige Autoritäten nicht ganz sicher, daß alle möglichen Wachstumsfaktoren bekannt sind, und selbst einige von den bekannten Faktoren sind mehr oder weniger unkontrollierbar; darum ist die Festsetzung von idealen Wachstumsbedingungen kaum möglich.

Jedoch können wir auf Grund der alleinigen Annahme über die Gültigkeit des Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren und dessen mathematischer Darstellung durch Gleichung (4) für jede Pflanzengattung, welcher Art auch immer, einen Maximalwert von Q festsetzen. Für eine überschlägliche Schätzung kann man von der oben gegebenen Prozenttabelle Gebrauch machen. Gemäß dieser Tafel wächst, wenn die Menge des Bodenstickstoffs von 2,5 auf 5,0 $^0/_0$/ha steigt (d. h. die Masse des wirksamen Nährstoffs um 100 $^0/_0$ angewachsen ist) das Produkt prozentual bloß von 50 auf 75, äquivalent einem Nettozuwachs von 25 $^0/_0$ des Höchstertrages. Es ist klar, daß die zweite Stickstoffeinheit nur halb so wirkungsvoll ist wie die erste, was bedeutet, daß die Pflanze nur einen Teil dieser Einheit genutzt hat, während der Rest unausgenützt in dem Boden verbleibt. Da die dritte Einheit eine Ertragserhöhung von nur 12,5 $^0/_0$ des Maximums ergibt, müssen die Pflanzen einen noch geringeren Anteil dieser Einheit ausgenutzt haben. Die vierte Einheit weist nur eine Ertragserhöhung von 6,25 $^0/_0$ auf, so daß bei weitem der größte Teil dieser Einheit im Boden unausgenutzt bleiben muß; und so weiter, bis der von der zehnten Einheit resorbierte Anteil verschwindend klein wird. Wir können hieraus ersehen, daß von den ganzen 25 dz/ha, die im Boden vorhanden sein müssen, um einen 99,99 $^0/_0$igen Ertrag zu geben, nur ein relativ geringer Anteil von den Pflanzen für ihr Wachstum verwertet wird.

Die in diesem Prozeß wirklich verwendete Menge des Stickstoffs kann überschläglich wie folgt geschätzt werden.

Stickstoff	von	der	ersten	Gabe	etwa	2,4	dz/ha
„	„	„	zweiten	„	„	0,62	„
„	„	„	dritten	„	„	0,31	„
„	„	„	vierten	„	„	0,15	„
„	„	„	fünften	„	„	0,07	„ usw.

Die Summe dieser Reihe bis zum zehnten Glied beträgt etwa 3,6, was die volle Gesamtmenge des Bodenstickstoffs darstellt, die von irgend einer Pflanze irgendwelcher Art von einem Hektar Land in einem vollen Wachstumszyklus verwertet werden kann.

Der wirkliche Grenzverbrauch von Stickstoff kann auch aus der Gleichung (1) mathematisch abgeleitet werden.

Jeder Physikochemiker wird in dieser Gleichung eine irreversible Reaktion erster Ordnung erkennen, in der ein Produkt y in abnehmenden Maße anwächst, wenn das aktive Agens x regelmäßig um je eine Einheit anwächst. Das Gesetz dieses Zuwachses von y ist ebenso in Gleichung (4) zum Ausdruck ge-

bracht, die y als eine Funktion von x zeigt. Wenn die Gleichung (4) nach:

$$x = \frac{2 - \log(100 - y)}{c} \qquad (6)$$

umgestaltet wird, ergibt sich x als Funktion von y und zeigt die Stickstoffmenge, die in der Massenwirkung zwischen Pflanzen und Bodenstickstoff sich umgesetzt hat, d. h. die Menge des Stickstoffs, die in Wirklichkeit von den Pflanzen aufgenommen und bei der Ernte dem Felde entzogen worden ist[1]. Ersetzt man c in dieser Gleichung durch 0,122, welche Zahl Mitscherlich als den experimentell bestimmten Wert des Wirkungsfaktors des Wachstumsfaktors Stickstoff angibt, und löst man nach x für den Fall y = 100 auf, so ergibt sich für x der Wert 3,56, der mit den oben gegebenen Annäherungszahlen leidlich übereinstimmt.

Wir können diese Zahl 3,56 benutzen, um Q für einige Pflanzenarten zu berechnen; die Überlegung ist folgende:

Jede reingezüchtete (homozygote) Pflanze, Genotyp oder stabiler Agrotyp, wird bei normalem Wachstum immer eine genau bestimmte Menge von Stickstoff enthalten, die für gewöhnlich als ein prozentualer Anteil der Trockengesamtsubstanz erscheint. Zum Beispiel eine gewisse reine Weizensorte mag 1,25% Stickstoff in der ganzen, trockenen Pflanze (Stroh und Körner) enthalten; dieser Stickstoffgehalt ist ein genotypisches Wesensmerkmal der Sorte und wird zwangsläufig stets erzeugt, wenn der betreffende Geno- oder Agrotyp wiederholt auf demselben normalen Boden angebaut wird, wie er als dem Typ dieser Pflanze entsprechend angenommen wird. Nun, da der in Rede stehende Agrotyp 1,25% Stickstoff enthält und da 3,56 dz/ha der Grenzbetrag ist, den irgendein Agrotyp in Wirklichkeit, unter den besten Wachstumsbedingungen, aufnehmen kann, so folgt, daß eine Varietät von Weizen, die durch einen Stickstoffgehalt von 1,25% gekennzeichnet ist, höchstens 3,56/0,0125 = 284,8 dz an Weizentrockensubstanz zeugen kann. Wenn die Verteilung der Trockensubstanz zwischen Stroh und bei diesem Genotyp 60 : 40 ist, so wird die Menge des reinen Weizens 113,92 dz/ha betragen.

Der Grenzwert für Q in Gleichung (5) ist demnach 113,92. Wenn dieser Weizenagrotyp eine Höchstleistungszucht ist (d. h., wenn er durch Hochzüchtung bis zu dem Punkte des Maximums von „Lebenskraft" verbessert ist) und wenn jeder bekannte oder unbekannte Wachstumsfaktor, von x_1 bis x_n anwesend und in seiner vollen Optimalmenge wirksam ist, so wird y = 113,92 sein. Wenn der Agrotyp nicht die Kraft zur Höchstleistung hat oder wenn irgend ein äußerer Wachstumsfaktor nicht anwesend ist

[1]) Obgleich Mitscherlich seine Gleichung deutlich mit dem Massenwirkungsgesetz in Zusammenhang gebracht hat*), so richtete er sein ganzes Augenmerk auf y, als von x beeinflußt, ohne zu bedenken, daß x in dem Prozeß verbraucht wird.

*) Vgl. s. Ausführungen „Über allgemeine Naturgesetze", Schriften der Königsberger Gelehrten-Ges., 1 (1924), Naturwissenschft. Klasse (Heft 3).

oder nicht in seiner vollen Stärke wirkt, so wird y einen im Verhältnis zu dem Mangel des nicht im Optimum befindlichen Wachstumsfaktors niederen Wert haben.

Da das Mitscherlich-Gesetz fordert, daß der Wirkungsfaktor eines beliebigen Wachstumsfaktors unabhängig von irgend einem anderen Umstande ist, kann dieselbe Formel Anwendung finden, um Q für jede Pflanze irgendeiner Art zu finden: Man dividiere 3,56 durch den Stickstoffprozentgehalt des Agrotyps.

Dieser weitere Ausblick des Wirkungsgesetzes übertrifft an Wichtigkeit jede Anwendung der Mitscherlichgleichung, die nur geschieht als Mittel zur Bestimmung des Bodendüngerbedarfs. Die Formel 3,56/N zeigt die äußerste Grenze der Ertragsfähigkeit irgend eines vorhandenen oder im Verlauf der Natur- oder Zuchtentwicklung sich ergebenden Pflanzengenotyps, womit mit anderen Worten gesagt werden soll, daß wir jetzt ein Mittel zur Bestimmung der absoluten Maximalproduktivität von Land haben.

Die Formel ist ein Maßstab, mit dem der praktische Landwirt seine Resultate an der von der Natur gesetzten Grenze abmessen kann. Hat zum Beispiel die normal gewachsene Zuckerrübe einen Stickstoffgehalt von etwa 0,21 % der ganzen Frischsubstanz (Wurzeln, Blätter und Kopf), da ist der berechnete Wert von Q 1695 dz/ha; bei Abzug von 1/3 für Blätter und Kopf beträgt das Maximum der Ertragsfähigkeit für Fabriksrüben von diesem Stickstoffgehalt 1130 dz/ha. Dem Durchschnittsrübenbauern, der meint, daß er viel getan hat, wenn er 400 dz/ha erzielt, wird die Zahl 1130 als ein bloßer Traum erscheinen. Doch ist es ein der Wirklichkeit sehr nahe kommender Traum. Erträge von 800 dz/ha von hervorragenden Rüben mit 168 dz/ha an Zucker sind in Kalifornien eine gewöhnliche Sache; das sind bis 70 % der Theorie. Gemäß einem offiziellen Bericht von dem Chervona-Staat-Gut in Rußland, gibt die neueste Sorte der russischen Zuckerrübe, wenn sie in einem gut bestellten Boden wächst, an 1049 dz/ha; das sind 91,6 % der Theorie. Das errechnete Maximum von Mais beträgt 157 dz/ha an Körnern; Erträge, die an diese Zahl nahe herankommen, sind auf amerikanischen Farmen erzielt worden.

Aus solchen Beispielen geht klar hervor, das der Durchschnittslandwirt nur einen kleinen Anteil der naturgegebenen Möglichkeiten ausbeutet. Es mögen Schwierigkeiten bei dem Zurichten von idealen Böden für die Kulturpflanzen vorhanden sein, doch wenn das Ideal ganz oder annähernd erreicht ist, dürfte der Gewinn sicherlich groß sein. [120]

Zur Mitscherlichschen Ertragsgleichung.

Von **Eilh. Alfred Mitscherlich,** Königsberg.

Erwiderung zu den vorstehenden Ausführungen von O. W. Willcox, USA.

Eingegangen: 13. Januar 1938.

Wenn zunächst der Verfasser anerkennt, daß das Wirkungsgesetz nur in erster Annäherung Gültigkeit besitzt, daß es also gerade in extremen Fällen versagen muß, so fällt damit von vornherein jedwede Berechnung, welche sich speziell der Endwerte bedient, weg. Trotzdem möchten wir aber nachfolgend den Gedankengängen von Willcox folgen, um zu zeigen, daß auch seine Folgerungen dann, wenn das Gesetz volle Gültigkeit hätte, nicht stichhaltig sein können.

Das Gesetz besagt zunächst, daß der Pflanzenertrag mit der Steigerung eines Wachstumsfaktors steigt proportional dem an einem Höchstertrage fehlenden Ertrage. Integriert ergibt das nach y aufgelöst:

$$y = A_1 (1 - 10^{-cx}) \qquad (2)$$

Der Höchstertrag dem sich der Ertrag dabei nähert wird bedingt durch die momentane Konstellation sämtlicher anderer Wachstumsfaktoren. Steigert man so einen zweiten Wachstumsfaktor, so steigt A_1 nach derselben Gleichung bis zu A_2

$$A_1 = A_2 (1 - 10^{-cx}) \qquad (2a)$$

ebenso steigt der Höchstertrag A_2 mit der Steigerung eines dritten Wachstumsfaktors bis zu A_3 nach der Gleichung

$$A_2 = A_3 (1 - 10^{-cx}) \text{ usf.} \qquad (2b)$$

bis man auf diese Weise schließlich den absoluten Höchstertrag Q erreichen würde.

Bringt man den Ertrag y in Abhängigkeit von sämtlichen Wachstumsfaktoren, indem man stets die Werte der letzteren Gleichung in die der vorhergehenden einsetzt, so hier in der Gleichung 2b den Wert für A_3, in die Gleichung 2a alsdann den Wert für A_2 aus Gleichung 2b und alsdann wieder in Gleichung 2 den Wert für A_1 aus der Gleichung 2a, so erhält man die Willcoxsche Formel (3)

$$y = Q \cdot (1 - 10^{-c_1 x_1}) \cdot (1 - 10^{-c_2 x_2}) \ldots (1 - 10^{-c_n x_n}) \ldots (1 - 10^{-c_q x_q}) \qquad (3)$$

Um sonach den absoluten Höchstertrag Q zu erhalten, müßte man sämtliche Wachstumsfaktoren in genügenden Mengen den Pflanzen zur Verfügung stellen können, und zwar nicht nur die klimatischen und die bodenkundlichen, die ich als „äußere Pflanzenwachstumsfaktoren“ bezeichnete, sondern ebenso auch die „inneren Wachstumsfaktoren der Pflanze“, welche wir nur durch die Züchtung in gewisser Weise verbessern können, und für die genau das gleiche Gesetz gilt, wie das bereits Mendel finden, wenn auch nicht so auswerten konnte!

Da es uns nun leider völlig unmöglich ist, alle diese Wachstumsfaktoren, — selbst wenn wir sie alle kennen sollten! — derart günstig zu gestalten, daß je zehn Einheiten davon nach Baule vorhanden sind, so würde wiederum unsere ganze Rechnung immer noch nur theoretischen Wert besitzen.

Willcox geht jetzt nun speziell auf den Wachstumsfaktor Stickstoff ein; wir wollen dem folgen; er benutzt hierbei den von uns gefundenen Wirkungswert des Stickstoffs c = 0,122 je dz/ha.

Wir sahen zuvor, daß das Wirkungsgesetz „Proportionalität" verlangt. Ein Fall der Proportionalität ist nun die Gleichheit, und diesen Fall hat seiner Zeit Baule dazu benutzt, um seine „Nährstoffeinheiten" zu bestimmen, das sind die Mengen eines Nährstoffes, welche gerade die Hälfte des Höchstertrages erzielen lassen. Mit zwei derartigen Nährstoff-Einheiten erhält man sodann $^3/_4$ des Höchstertrages, mit drei Nährstoffeinheiten $^7/_8$, usf. Setzen wir dabei den Höchstertrag = 100, um alle Erträge in Prozenten dieses Höchstertrages auszudrücken, so ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\log (100-y) = \log 100 - 0{,}301 \cdot x.$$

Jetzt folgen die Ertragssteigerungen dieser Gleichung so, wie das Willcox ausführte, für x = 1, = 2, = 3, = 4 ist y = 50, = 75, = 87,5 . . . und wir werden bei x = 10 Nährstoffeinheiten einen Ertrag von 99,9 % des Höchstertrages erreichen, was praktisch = 100 anzusehen ist.

Um nun die Nährstoffeinheit nach Baule zu berechnen, braucht man nur den Faktor 0,301 durch den Wirkungsfaktor des Stickstoffs zu dividieren; man erhält dann: 0,301 : 0,122 = 2,467. — Wem diese Rechnung zu schnell geht, der erinnere sich daran, daß mit einer Nährstoffeinheit gerade 50 % des Höchstertrages erreicht werden sollen, und setze diese Werte in unsere Gleichung ein; er erhält sodann:

$$\log (100-50) = \log 100 - 0{,}122 \cdot x$$

oder für x = 2,467.

Willcox schließt nun weiter, daß man mit zehn derartigen Nährstoffeinheiten = rund 25 dz/ha Stickstoff angenähert den Höchstertrag erreicht. Er erhält in der Tat 99,9 %; könnte sich aber vielleicht ebensogut schon mit acht Nährstoffeinheiten begnügen, die ihm auch bereits 99,6 % des Höchstertrages geben, also angenähert diesen Ertrag. Die angenommene Grenze ist also hier zunächst etwas Willkürliches.

Sonst bieten die Ausführungen von Willcox bis hierher wenig Neues; sie entsprechen dem, was über das Wirkungsgesetz bereits bekannt war.

Jetzt setzt aber eine neuartige Schätzung des Verfassers ein, mit der ich zunächst nicht übereinstimmen kann, wenn er schreibt:

„Die in diesem Prozeß wirklich verwertete Menge des Stickstoffs kann überschläglich, wie folgt geschätzt werden:

Stickstoff	von	der	ersten	Gabe	etwa	2,4	dz/ha
„	„	„	zweiten	„	„	0,62	„
„	„	„	dritten	„	„	0,31	„
„	„	„	vierten	„	„	0,15	„
„	„	„	fünften	„	„	0,07	„ usw.“

so daß die Summe dieser Reihe bis zum zehnten Gliede 3,6 dz/ha beträgt, so vermag ich dem nicht zu folgen.

Ich nehme an, daß er voraussetzen will, daß sich der Stickstoffgehalt unserer Erträge prozentisch bei Steigerung der Düngung nicht ändert; dann müßte er entweder bei der ersten Gabe 1,2 dz/ha in Ansatz bringen, womit die Gesamtmenge = 2,4 dz/ha bei zehn Gaben werden würde, oder er müßte die zweite Gabe mit 1,2 dz/ha ansetzen, die dritte dann mit 0,62, die vierte mit 0,31, ... so daß er als Summe der Reihe 4,8 dz/ha erhalten würde. Bei seiner Annahme würde ja der Gehalt der Ernteerträge an Prozenten Stickstoff nicht gleichbleiben, sondern im Gegenteil fallen; in Wirklichkeit steigt aber, wie wir nachher zeigen werden, der prozentische Stickstoffgehalt der Ernte mit der höheren Düngergabe und zwar ziemlich erheblich!

In jedem Falle ist also die Annahme nicht zutreffend, daß gerade 3,6 dz/ha Stickstoff die Gesamtmenge des Bodenstickstoffs darstellt, die von irgendeiner Pflanze irgendwelcher Art von einem Hektar Land in einem vollen Wachstums-Zyklus verwertet werden kann.

Auch läßt sich der wirkliche Grenzverbrauch von Stickstoff keineswegs aus der Gleichung (1) mathematisch ableiten. Wenn wir die Gleichung (4) nach x hin auflösen:

$$x = \frac{2 - \log(100 - y)}{c} \qquad (6)$$

und für c den Wirkungswert des Stickstoffs 0,122 einsetzen, so muß man für x, je nach der Wahl von y verschiedene Werte erhalten. Setzt man dabei $y = 100$, so ergibt sich für $x = \infty$; setzt man für $y = 99{,}9$, so muß man für $x = 25$ erhalten; also die zehn Nährstoffeinheiten. Einen Wert $x = 3{,}56$ würde man erhalten, wenn man für $y = 63{,}2$ in Ansatz bringt.

Willcox benutzt nun aber — was mathematisch leicht auszuführen ist! — die obige Gleichung nur, um die Tangente im Nullpunkt anzulegen. Wenn er diese dann bei der Stickstoffkurve bis zum Höchstertrage von $y = 100\%$ durchzieht, dann erhält er nach seinen a. a. O. ausgeführten Berechnungen für $x = 3{,}56$ dz/ha (s. Figur). — Dieses an und für sich mathematisch durchaus einwandfreie Verfahren ist nun leider pflanzenphysiologisch völlig unbegründet. Denn zunächst gibt es für die Anlegung der Tangente keine Begründung; dann aber ist auch das eine neue Annahme, daß gerade die hier gefundenen 3,56 dz/ha N diejenigen Stickstoffmengen sein sollen, welche die Pflanze aufzunehmen vermag! Von vornherein sollte man zunächst annehmen, daß diese Mengen x die in der Düngung, bzw. im Boden verab-

folgten Nährstoffmengen wären, für die der Wirkungsfaktor c = 0,122 allein gilt!

Es ist ebenso ein unglücklicher Zufall, daß hier der Wert 3,56 dz/ha angenähert dem Werte 3,6 dz/ha entspricht, den der Verfasser zuvor fälschlicherweise als von den Pflanzen aufnehmbare Stickstoffmengen angenommen hatte.

Mir scheint, daß Willcox die Tatsachen nur kompliziert, wenn er statt mit den Erträgen nunmehr mit den aufgenommenen Nährstoffmengen, bzw. mit den von den Pflanzen verwerteten Nährstoffmengen rechnet, und aus diesen Mengen wieder zurückberechnen will, wie hohe Pflanzenerträge man überhaupt zu erzielen vermag. Einmal beruhen seine ganzen Annahmen betreffend die Nährstoffverwertung auf reiner Schätzung, die — wie wir gleich an Beobachtungsmaterialen zeigen werden, — keineswegs zutreffen kann, dann aber scheint mir noch bei allem ein Kreisschluß der Gedanken vorzuliegen; denn es ist ja ganz gleichgültig, von welcher Seite aus man eine Gleichung mit zwei Unbekannten betrachtet; man wird hier stets zum gleichen Ergebnisse kommen.

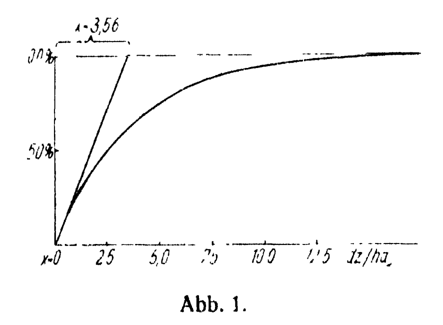


Abb. 1.

Ich bringe nun zur Widerlegung der Theorien von Willcox direktes Beobachtungsmaterial:

Wir haben Versuche mit Runkelrüben auf dem Felde angestellt, indem wir die Abhängigkeit des Ertrages dieser Pflanze von der Stickstoffdüngung studierten und hierbei auch Gaben verwandten, die bisher wohl noch nie zur Düngung verwendet wurden. Das Düngesalz war Natronsalpeter. Die Ernten wurden quantitativ festgestellt und die Stickstoffaufnahme der Pflanzen studiert. Ich lasse die Beobachtungen folgen:

Düngung dz/ha N	Wurzel-Erträge dz/ha		Trokkensubstanz dz/ha	% N	dz/ha N	Blatt-Erträge dz/ha		Trokkensubstanz dz/ha	% N	dz/ha N	In der ganzen Ernte dz/ha N	N-Ausnutzung in % der gedüngten Mengen
	gefunden	berechnet				gefunden	berechnet					
0,0	584	525	57,8	1,29	0,75	113	65	7,2	1,93	0,14	0,89	—
0,4	596	607	66,8	1,42	0,95	102	98	10,8	—	0,23	1,18	72
0,8	668	681	74,9	1,53	1,15	120	128	14,1	—	0,30	1,45	70
1,2	723	747	82,2	1,64	1,35	151	154	16,9	—	0,37	1,72	69
1,6	846	806	88,7	1,73	1,53	190	177	19,5	—	0,44	1,97	68
2,0	853	858	94,4	1,81	1,71	190	198	21,8	—	0,51	2,22	66
2,4	897	905	100,0	1,88	1,88	212	217	23,9	—	0,57	2,45	65
3,0	970	967	106,4	1,98	2,11	249	242	26,6	—	0,68	2,79	63
4,0	1054	1048	115,3	2,10	2,42	274	274	30,1	2,92	0,88	3,30	60

Die Ertragsgleichungen sind hierbei die folgenden:

für Rübenwurzeln: $\log (1300 - y) = 2{,}8893 - 0{,}122 \cdot x$

für Rübenblätter: $\log (375 - y) = 1{,}4914 - 0{,}122 \cdot x$

Wir haben zur Berechnung des Stickstoffentzuges die oben berechneten Werte zugrunde gelegt, und die Werte für den Stickstoffgehalt der Blätter interpoliert; dadurch stimmen nunmehr die Werte für die Stickstoffentnahme der Pflanzen aus dem Boden numerisch mit der folgenden Gleichung überein:

$$\log (8 - y) = 0{,}8519 - 0{,}045 \cdot x$$

Wir können dem Boden danach ganz wesentlich höhere Stickstoffmengen durch die Pflanzen entziehen als dieses Willcox annimmt (8 statt 3,56 dz/ha); ein Zeichen, daß auch hierin seine Annahmen nicht zutreffen können!

Wahrscheinlich werden wir auch unsere Pflanzenerträge noch weit mehr zu steigern vermögen, als das von dem Verfasser angenommen wurde; aber — wie gesagt — wir haben diese Ertragssteigerung darum niemals in der Hand, weil eben der Pflanzenertrag von sämtlichen Wachstumsfaktoren abhängig ist und wir trotz bester Bodenbearbeitung, trotz bester Düngung, trotz Verwendung der Höchsterträge liefernden Pflanzenzüchtungen einen großen Teil der gegebenen Wachstumsbedingungen nicht beherrschen! Wir werden so immer abhängig sein von der physikalischen Beschaffenheit des Bodens, wie von den örtlichen klimatischen Bedingungen, die ja — wie es der Landwirt am besten weiß — auch in ihren jährlichen Schwankungen ganz erhebliche Ertragsunterschiede bedingen.

Sicher läßt sich hier noch viel erreichen, und ich glaube, es wird kaum in einem Lande mehr an der Ertragssteigerung gearbeitet als bei uns in Deutschland, das infolge der Ungunst des Bodens und der Ungunst des Klimas ganz besonders darum kämpft, seine Bevölkerung auf eigener Scholle zu ernähren.

[130]

Neuere Untersuchungen über die Ursache der Urbarmachungskrankheit und die Wirkung des Kupfers als Spurenelement.

Von **W. Hoffmann.**

Aus der Preuß. Moor-Versuchsstation in Bremen.

Direktor: Prof. Dr. Brüne.

Eingegangen: 30. November 1938.

In einer früheren Arbeit (1) wurde über „Spurenelemente und ihre Wirkung auf das Pflanzenwachstum unter besonderer Berücksichtigung von Versuchsergebnissen mit Kupfer" berichtet. Die folgenden Ausführungen bauen auf diesen Ergebnissen auf und sollen sie durch neuere Untersuchungen ergänzen. Da neben den Spurenelementen Bor, Mangan, Zink, Cobalt usw. die große Bedeutung des Kupfers für die praktische Landwirtschaft, namentlich in bezug auf seine heilende Wirkung beim Auftreten der Urbarmachungs- oder Heidemoorkrankheit (2) erkannt worden ist, wurden besonders die Untersuchungen über die Wirkung des Kupfers fortgesetzt.

Für die Bewertung des Kupfers kann man verschiedene Perioden unterscheiden und zwar in früheren Jahrzehnten die Untersuchung über die Giftwirkung des Kupfers und später über die sogenannte Reizwirkung bei kleinsten Kupfermengen, wobei auch die Anwendung von kupferhaltigen „Beizmitteln“ zur Bekämpfung von Unkräutern und pilzlichen Krankheitserregern erwähnt werden soll. Die dritte Feststellung der Wuchssteigerung (3) durch Kupfersulfat war für Hudig und Mitarbeiter (4) dann schließlich der Anlaß, das Kupfer gegen die meist auf gewissen Heideböden auftretende Urbarmachungs- oder Heidemoorkrankheit anzuwenden mit dem Erfolge, daß eine vollständige Heilung der Krankheit erzielt wurde. Nach Bekanntgabe dieser Ergebnisse liefen aus den verschiedensten Ländern der Welt Meldungen über die Erfolge mit Kupfergaben ein, und gleichzeitig befaßte sich auch die pflanzenphysiologische Forschung mit dem Kupfer.

War man sich über die Bekämpfung der Urbarmachungskrankheit und über die ertragssteigernde Wirkung von $CuSO_4$-Gaben einig, so gingen die Ansichten der Forscher über die Ursache der Krankheit und insbesondere über die Art der Wirkung des Kupfers noch auseinander. Das war im vorigen wie im letzten Jahr die Veranlassung, Versuche in der Preußischen Moor-Versuchsstation in Bremen durchzuführen, die Aufklärung über die Ursache der Urbarmachungskrankheit und die Art der Cu-Wirkung geben sollten.

Die Krankheitsursache wurde einmal auf eine physiologische Störung bzw. ungünstige mikrobielle Einflüsse, dann auf unzureichende Wasserversorgung oder auf einen angeblich vorhandenen Giftstoff und endlich auf einen Mangel an aufnehmbarem Cu im Boden zurückgeführt. Die Cu-Wirkung selbst wurde dagegen einmal in den Boden, ein anderes Mal in die Pflanze verlegt. Es galt deshalb zunächst, die seither erzielten Versuchsergebnisse durch eigene Versuche zu bestätigen und durch andere neue Versuche bisher geäußerte Ansichten entweder zu widerlegen oder zu erhärten. Die von mir im Jahre 1937 angestellten Versuche bestätigten die Wasserkulturen von Brandenburg (5) in vollem Umfang. Gleichzeitig konnten durch vorsichtig abgestufte Kupfergaben die verschiedensten Grade der Krankheit hervorgerufen, bzw. beseitigt werden. Bereits 9 γ Cu je Liter Nährlösung verhinderte die Krankheit vollständig (1). Aus diesem Verhalten kann auf eine physiologische Wirkungsweise des Kupfers im Gesamtstoffwechsel der Pflanze geschlossen werden. Gegen den Einwand, das Auftreten der Urbarmachungskrankheit in den Wasserkulturen ohne Cu könne nicht auf Kupfermangel, sondern vielleicht auf einen Sauerstoffmangel in der Nährlösung zurückzuführen sein, der durch sogenannte Stimulationswirkung geringer Kupfergaben behoben würde, sprechen folgende Gründe: 1. Durch die Ergänzung und Erneuerung der Nährlösung wurde auch den Wurzeln stets eine gewisse Menge Sauerstoff immer wieder zugeführt. 2. In der vegetativen Entwicklung zeigte sich nirgends ein Mangel an Sauerstoff, auch nicht durch allgemeine Hemmung des Wachstums. 3. Ein wirklicher Sauerstoffmangel hätte sowohl beim Fehlen von Kupfer als auch z. B. von Bor und Mangan immer die gleichen Krankheitserscheinungen hervorrufen müssen. Auch dieses ist nicht der Fall Vielmehr treten beim Mangel eines dieser genannten Spurenelemente Krankheitssymptome auf, die für jedes dieser Elemente charakteristisch sind und bei den verschiedenen Pflanzen in den Grundzügen weitgehende Übereinstimmung zeigen. 4. Alle Versuche, ein Element durch das andere zu ersetzen, sind bisher fehlgeschlagen (6). Damit ist als Ursache für das Auftreten der Urbarmachungskrankheit in der Wasserkultur Cu-Mangel bewiesen.

Weitere Versuche galten der Frage: tritt die Urbarmachungskrankheit bei Verwendung von Cu-freiem Wasser in genügend bewässerten Gefäßkulturen auf heidemoorkrankem Boden auf und welchen Einfluß übt die Art des verwendeten Gießwassers, nämlich Leitungswasser, gewöhnlich destilliertes Wasser und doppelt über Glas destilliertes Wasser aus? Es zeigte sich, daß ausreichende Bewässerung mit zweimal über Glas destilliertem kupferfreien Wasser die Krankheit nicht zu verhindern oder zu mildern vermochte, dagegen bereits geringe Cu-Mengen im Gießwasser einen günstigen Einfluß auf die Krankheit auszuüben vermochten (1) Auch die Untersuchung kranker Heidesande ergab in diesen geringere Mengen Cu

als in gesunden Heidesandböden. Düngungsversuche mit Kupfersulfat ergaben, daß die Pflanze je nach dem Kupfergehalt des Bodens Kupfer aufzunehmen vermag. Diese Ergebnisse, sowie auch die Tatsache, daß die Krankheit bereits durch äußeres Bepinseln der Blätter mit Kupfersulfat geheilt werden kann, erhärten die Ansicht, daß eine Kupferbedürftigkeit der Pflanze vorliegt. Die Ursache der Urbarmachungskrankheit ist deshalb allem Anschein nach auf Heidesandböden in einem Mangel an aufnehmbarem Kupfer zu suchen und die Wirkung des Kupfers ist, wie auch die Aufnahme des Kupfers durch die Pflanze auf dem Wege über die Blätter zeigt, in die Pflanze zu verlegen. Da der Kupfergehalt der Heidesandböden nach den Ergebnissen der angestellten Wasser- und Sandkulturversuche (1) an sich ausreichend ist, darf man annehmen, daß ebenso wie beim Bor und Mangan ein Mangel an pflanzenverfügbarem Kupfer nur durch eine bestimmte Art von Humus hervorgerufen werden kann. Dieser Humus unterscheidet sich offenbar von dem der Hochmoorböden — auf denen, wie der Vergleich des Kupfergehaltes mit kranken Heidesanden zeigt, trotz bedeutend geringerer Cu-Mengen die Urbarmachungskrankheit nicht hervorgerufen wird — und beeinflußt die Aufnehmbarkeit oder die Wirkung des vorhandenen Bodenkupfers oder aber das Gleichgewicht der Ionen. So konnte auch Smith (8) durch Entfernen der Humusbestandteile aus dem Bleichsand das Auftreten der Krankheit dort verhindern.

Durch die in der letzten Vegetationsperiode durchgeführten Versuche und chemischen Untersuchungen sollten weitere Beweise für die Annahme des Kupfermangels und der Festlegung des Kupfers durch eine bestimmte Art von Humus als Ursache der Heidemoorkrankheit erbracht werden. Zu diesem Zwecke mußte festgestellt werden, ob die Urbarmachungskrankheit auf gesunden Böden, vielleicht durch Zusatz von in geeigneter Weise behandeltem Humus, hervorgerufen, bzw. auf kranken Heidesandböden auch ohne zusätzliche Behandlung mit Kupfersulfat verhindert werden konnte.

Verwendet wurde für diese Versuche Hohenbockaer Glassand, Hochmoorboden, Acidum-huminicum nach Merck und Heidesand, der im Jahre 1936 in der Versuchswirtschaft der Moorversuchsstation in Königsmoor sogar bei dem wenig anfälligen Moorhafer die typischen Erscheinungen der Urbarmachungskrankheit gezeigt hatte. Als Versuchspflanze diente Svalöfs Siegeshafer. Alle Versuche wurden wieder in mit Paraffin überzogenen Glasgefäßen von 600 ccm Inhalt, die außen mit schwarzem Papier umgeben wurden, angesetzt. Alle Versuchsreihen wurden zu gleicher Zeit durchgeführt und je Gefäß 4 Pflanzen gezogen. Als Düngung wurden nach den Angaben von Brandenburg (5) die Salze einer etwas veränderten Nährlösung nach Zinzadze in folgender Zusammenstellung, berechnet je 1 Liter, gegeben: 0,5 g KNO_3; 0,2 g NH_4Cl; 0,36 g KCl; 0,5 g $Ca_3 (PO_4)_2$; 0,5 g $Mg SO_4$; 0,2 g $Fe_2 (NH_4)_2 (SO_4)_4$, dazu 0,5 mg H_3BO_3; 2 mg $MnSO_4$; 0,5 mg $ZnSO_4$; 0,5 mg $Al_2(SO_4)_3$ und 35 mg K_2SiO_3.

Als Ausgangschemikalien wurden „pro Analysi-Salze“ verwendet, die in der Hauptsache nach der Methode von Stolze (9) die bereits in der letzten Arbeit (1) beschrieben ist — durch Ausschütteln mit Dithizon in einer Lösung von Tetrachlorkohlenstoff von Cu-Spuren befreit wurden. Lediglich die Salze Zinksulfat und Ferriammoniumsulfat wurden durch zweimaliges Umkristallisieren in zweimal über Glas destilliertem Wasser gereinigt. Kalziumphosphat wurde aus gereinigtem Natriumphosphat und Kalziumchlorid hergestellt. Kaliumsilikat wurde in Form des „pro Analysi-Salzes“ gebraucht. Für alle Versuche wurde als Gießwasser zweimal über Glas destilliertes Wasser verwandt, welches nicht mehr genau feststellbare Cu-Spuren in einer Menge von ca. 0,5 γ — 1 γ je Liter enthielt.

Für die Sandversuche wurde der verwendete Hohenbockaer Glassand, um ihn kupferfrei zu machen, wiederholt mit 10%

Salzsäure in der Wärme und Kälte behandelt und mit kupferfreiem Wasser bis zur Chlorfreiheit ausgewaschen. Trotz dieser Behandlung gelang es auch dieses Mal nicht (1), den Sand vollständig kupferfrei zu erhalten. Es wurden immer noch 6 γ wasserlösliches Cu und 0,12 mg Gesamtkupfer in 1 kg gefunden. Dagegen gelang es, den Sand durch die Behandlung mit Salzsäure soweit eisenfrei zu bekommen, daß die Pflanzen ohne Zusatz von Fe stark an Chlorose erkrankten und daran teilweise zugrunde gingen.

Im einzelnen war die Durchführung folgende: Es wurden zwei Versuchsreihen mit dem mit Salzsäure behandelten Hohenbockaer Glassand unter Zusatz der oben genannten Düngung, aber unter Fortlassung des Fe-Salzes in je einer Versuchsreihe angesetzt. Da der behandelte Sand trotz sorgfältiger Auswaschung noch einen pH von 4,14 zeigte, wurde er mit Kalkwasser auf einen pH von 6,00 titriert und mit einer entsprechenden Gabe von kohlensaurem Kalk gekalkt.

Alle Versuchspflanzen entwickelten sich nach dem Auflaufen gleichmäßig und zeigten zunächst ein gutes Wachstum. Nach drei Wochen machte sich bei den Pflanzen in der Versuchsreihe ohne Fe Eisenmangel bemerkbar, der sich in den nächsten Wochen ständig verstärkte und sich am Ende der Vegetation sowohl im Korn- wie Strohertrag bemerkbar machte. (S. Tab. 1.) Dagegen traten die typischen Erscheinungen der Urbarmachungskrankheit nicht auf. Auch bei den mit Fe-Salz versehenen Pflanzen waren die Kornerträge nicht sehr hoch. Daraus aber auf Urbarmachungskrankheit schließen zu wollen, dürfte zum mindesten sehr gewagt sein, selbst wenn man den vorjährigen Versuch zum Vergleich heranzieht, bei dem im Unterschied zu dem jetzigen bis zum Ende der Vegetationsperiode ein normales Wachstum mit guter Kornausbildung stattfand.

Tabelle 1.

Boden	Gießwasser	Erträge in g für 4 Pflanzen Korn i. M.		Stroh und Spreu i. M.
Versuch 1938 Hohenbockaer Glassand mit 10% HCl beh.	2 × über Glas dest. Wasser	a) Düngung mit Fe-Salz 0,819 g	b) Düngung ohne Fe 0,133	a) mit Fe 2,801 g b) ohne Fe 1,216 g
Versuch 1937 Hohenbockaer Glassand mit 10% HCl beh.	2 × über Glas dest. Wasser	a) Düngung mit Fe-Salz 1,248 g	b) Düngung ohne Fe Versuch ohne Fe-Zusatz wurde 1937 nicht durchgeführt	a) mit Fe 4,9 g b) ohne Fe

Da die typischen Anzeichen der Urbarmachungskrankheit äußerlich wenigstens nicht hervorgerufen werden konnten, muß man annehmen, daß durch die Behandlung des Sandes mit Salzsäure immer wieder neue Oberflächen auf den Sandkörnern entstehen und geringe Kupfermengen freigelegt werden. Ebenso werden auch durch das Angriffsvermögen der Wurzeln selbst neue Oberflächen auf den einzelnen Sandkörnern geschaffen und

so ständig zwar sehr geringe, aber doch ausreichende Kupfermengen für die Pflanze aufnehmbar gemacht.

Ob es gelingen wird, die von den Pflanzen im Sand angreifbaren Kupferverbindungen durch vorsichtiges mäßiges Glühen des mit Salzsäure behandelten Sandes in für die Pflanzen nicht oder wenigstens schwerer angreifbare Verbindungen überzuführen und so die Urbarmachungskrankheit auch im Sand hervorzurufen, bleibt abzuwarten.

Diese Versuche und Erwägungen, sowie die auf Grund der bisher vorliegenden Erfahrungen gemachte Annahme, daß eine bestimmte Art von Humus für die Festlegung des Kupfers in kranken Heidesandböden verantwortlich zu machen sei, waren die Veranlassung, den behandelten Sand mit einem geeigneten Humus zu vermischen, und so eine Festlegung des Kupfers und damit auch das Auftreten der Urbarmachungskrankheit im Sand zu erreichen. Dafür zweckmäßig schien Hochmoorboden und „Acidum-huminicum nach Merck“ zu sein. Da die Mercksche Humussäure im Mittel 98 mg Gesamtkupfer und 1,98 mg wasserlösliches Kupfer in 1 kg enthielt, wobei der Gehalt an Kupfer wie an Mineralstoffen überhaupt in verschiedenen Präparaten durchaus nicht gleichmäßig war, wurde diese mit Salzsäure behandelt, um die nach dem Aschegehalt vorhandenen mineralischen Bestandteile zu entfernen. Der verwendete Hochmoorboden, der in 1 kg 6,6 mg Gesamtkupfer und 1,41 mg wasserlösliches Kupfer enthielt, wurde ebenfalls mit Salzsäure ausgezogen. (S. Tab. 2)

Tabelle 2.

Bodenart	Gesamt-Cu im Mittel	Wasserlösl. Cu im Mittel	Asche in %	Fe_2O_3-Gehalt in %
	in 1 kg Hochmoorboden			
Hochmoorboden, unbehandelt	6,6 mg	1,41 mg	3,48	
Hochmoorboden mit 10% HCl behandelt .	2,92 mg	0,02 mg	1,91	
Acidum-huminicum . .	98,01 mg	1,98 mg	2,26	0,6
Acidum-huminicum mit 2% HCl behandelt . .	—	—	0,79	
Acidum-huminicum mit 10% HCl behandelt .	2,26 mg	0,03 mg	0,66	0,05

Die Untersuchung der Asche von Acidum-huminicum zeigte, daß ein sehr großer Bestandteil der Asche aus Fe_2O_3 bestand und daher ein eisenhaltiges Fällungsmittel für die Gewinnung der Humussäure verwandt war. Daraus erklärt sich auch der hohe Gehalt an Kupfer in Höhe von im Mittel 98 mg Gesamtkupfer in 1 kg.

Zur möglichst vollständigen Entfernung der mineralischen Bestandteile wurden je 50 g Acidum-huminicum mit der acht- bis zehnfachen Menge reiner 2%- und 10%iger Salzsäure versetzt, bis zur guten Benetzung evakuiert und dann bis zum gleichmäßigen Sieden erhitzt. Danach wurde die Aufschwemmung noch zwei Tage unter häufigem Umschütteln auf dem Wasserbade behandelt, nach dem Absetzen filtriert und die auf dem Filter zurückgebliebene Huminsäure mit kupferfreiem Wasser bis zur Cl-Freiheit und beginnenden kolloiden Auflösung gewaschen. Da durch die Behandlung mit der 10%igen Salzsäure die mineralischen Bestandteile, wie der Aschegehalt zeigt, weitgehender entfernt wurden als mit der 2%igen Salzsäure, wurde für die Vegetationsversuche nur mit 10%iger Salzsäure behandelte Acidum-huminicum verwandt. — In ähnlicher Weise wurde mit dem Hochmoorboden verfahren. Der lufttrockene und gemahlene Boden wurde mit einem Überschuß von 10% Salzsäure versetzt und gut verrührt. Nachdem sich der Boden auf dem Wasserbade abgesetzt hatte, wurde er zweimal mit Salzsäure dekantiert und dann 3 Tage auf dem Wasserbade mit Salzsäure unter häufigem Umschütteln erwärmt. Dann wurde nach dem Absetzen filtriert und der Rückstand in der angegebenen Weise mit kupferfreiem Wasser ausgewaschen.

Durch diese Behandlung mit Salzsäure wird neben der Entfernung von säurelöslichen Mineralstoffen eine Hydrolyse der Hemizellulosen bewirkt. Ferner gehen im allgemeinen geringfügige Anteile von Zellulose und Eiweißstoffen in Lösung, während die eigentlichen Huminsäuren nur sehr wenig oder überhaupt nicht angegriffen werden. Es kam bei diesen Versuchen zunächst auch lediglich darauf an, einen möglichst kupferfreien Humus zu erhalten, der durch sein Adsorptionsvermögen in der Lage war, Kupfer festzulegen und Krankheitssymptome wie die der Urbarmachungskrankheit hervorzurufen. Eine chemische Untersuchung dieses und des im kranken Heidesand vorhandenen Humus soll einer weiteren Arbeit vorbehalten bleiben. Für den Nachweis des Kupfers diente die bereits oben erwähnte Methode nach Stolze (9). Das wasserlösliche Kupfer wurde dieses Mal in der Weise bestimmt, daß der betreffende Boden bzw. Acidum-huminicum nach der vollständigen Benetzung mit der vierfachen Menge Wasser eine Stunde geschüttelt und das Filtrat in der bekannten Weise weiter bearbeitet wurde (1).

Wie Tabelle 2 zeigte, konnte das Kupfer in Acidum-huminicum durch die Behandlung mit Salzsäure bis auf 2,26 mg Gesamtkupfer und 0,03 mg wasserlösliches Kupfer, im Hochmoorboden bis auf 2,92 mg Gesamtkupfer und 0,62 mg wasserlösliches Kupfer in 1 kg entfernt werden.

Für die Versuchsanstellung wurden je 2 kg mit Säure vorbehandelter Sand mit je 100 g, berechnet auf Trockensubstanz, unbehandelter und behandelter „Acidum-huminicum nach Merck" innig vermengt und nach Düngung mit kupferfreien Nährsalzen auf eine Wasserkapazität von 60% gebracht (Verwendung von doppelt über Glas destilliertem Wasser). Außerdem wurde eine Kalkgabe in Form von kohlensaurem Kalk gegeben, die durch Titration ermittelt wurde und entsprechend dem urbarmachungskranken Heidesand das Sand-Humussäuregemisch auf einen pH von 4,2 in KCl bringen sollte. Die dem Sand zugesetzte Humussäure betrug etwa 60% von der in dem kranken Heidesand vorhandenen organischen Substanz. Es wurden von diesem Sand-Humussäuregemisch je zwei Gefäßversuche angesetzt.

In gleicher Weise wurde der unbehandelte und der mit Salzsäure behandelte Moostorf mit Sand gemischt und entsprechend gedüngt und gekalkt. Auch von diesen Gemischen wurden je zwei Gefäßversuche angesetzt. Außerdem wurden je zwei Vegetationsversuche mit unbehandeltem und behandeltem Moostorf ohne Zusatz von Sand durchgeführt. Ferner wurde für

alle Versuche eine weitere Kontrollreihe in der gleichen Weise, aber ohne Zusatz von Fe-Salz, angesetzt. Alle Versuche wurden ausreichend mit doppelt über Glas destilliertem Wasser versorgt.

In sämtlichen Gefäßen liefen alle Haferpflanzen fast zu gleicher Zeit auf und zeigten in den ersten drei Wochen normales Wachstum. Nach dieser Zeit machten sich aber erste Krankheitsanzeichen bemerkbar, die in ständig stärkerem Grade auftraten. In den Vegetationsversuchen ohne Zusatz von Fe zeigten die Pflanzen ein stark gelblich-weißes Aussehen und waren nach acht Wochen infolge starker Chlorose verkümmert. Bei den Versuchen mit der mit Salzsäure behandelten Humussäure traten nach vier Wochen bereits die typischen Anzeichen der Urbarmachungskrankheit auf, die sich bei sehr mäßigem Wachstum in der Folgezeit immer mehr auswirkten. Die Pflanzen mußten nach zwölf Wochen ausgeschieden werden, da sie infolge des starken Auftretens der Krankheit allmählich abstarben.

In den Versuchen mit unbehandelter Humussäure machte sich zwar auch ein mäßiges Wachstum, besonders in den Gefäßen ohne Eisen, bemerkbar, jedoch kam es überall zur Rispenbildung, und typische Krankheitserscheinungen, die man als Urbarmachungskrankheit hätte ansprechen können, traten wenigstens äußerlich nicht auf. Allerdings ließen die Erträge sehr zu wünschen übrig. (S. Tab. 3.)

Die Versuche, die mit dem mit Salzsäure behandelten Moostorf und zwar mit Zusatz von Sand und ohne Sand ausgeführt wurden, zeigten alle ein kränkliches, chlorotisches Aussehen und ein sehr mäßiges Wachstum. Die Erträge waren sehr gering. Die Pflanzen in der Reihe ohne Fe verkümmerten vollständig. —

Tabelle 3.

Boden	pH in KCl am Ende der Vegetation	Erträge in mg für 4 Pflanzen			
		Korn auf bei 100° getrocknete Substanz umgerechnet		Stroh + Spreu auf bei 100° getrocknete Substanz umgerechnet	
		a) Düngg. mit Fe-Salz g	b) ohne Fe g	mit Fe g	ohne Fe g
Sand + mit HCl beh. Humussäure . . .	3,79	—	—	0,987	0,709
Sand + unbeh. Humussäure	3,89	0,2364	0,0323	1,3478	0,8028
Sand + mit HCl beh. Moostorf	4,21	0,3313	—	1,0459	0,793
Sand + unbehandelter Moostorf	4,06	2,8825	2,0225	3,9749	4,217
Mit Salzsäure behand. Moostorf ohne Sand	4,33	0,0837	—	0,3612	0,203
Unbehandelter Moostorf	4,01	3,3025	3,0207	5,1187	5,1957

In den Versuchsreihen mit dem rohen, unbehandelten Moostorf gediehen die Pflanzen in allen Gefäßen mit oder ohne Sandzusatz außerordentlich üppig. Der Zusatz von Fe-Salz übte keinen sichtbaren wachstumsfördernden Einfluß aus.

Die Versuchsergebnisse zeigten, daß in den Versuchsreihen mit dem unbehandelten Moostorf alle Pflanzen ein gesundes und üppiges Wachstum zeigten und ein Cu-Mangel sich weder sichtbar noch in den Erträgen bemerkbar machte. Dagegen war in den Gefäßversuchen mit der behandelten und unbehandelten „Acidum-huminicum nach Merck", sowie mit dem mit Säure behandelten Moostorf bei allen Pflanzen eine starke Chlorose zu bemerken, die durch Zusatz von Fe zwar gemildert, aber nicht verhindert wurde. Dies zeigte, daß das Fe den Pflanzen anscheinend infolge Festlegung in nicht ausreichendem Maße zugänglich gewesen ist. Es gelang ferner, zwar zunächst nur in einem Versuch, die Urbarmachungskrankheit in mit Salzsäure behandeltem Sand durch Zusatz von mit Salzsäure behandelter „Acidum-huminicum nach Merck" hervorzurufen. Wenn sich daneben auch Säureschäden bemerkbar machten, so waren die Erscheinungen der Urbarmachungskrankheit so typisch, das an dem Auftreten der Krankheit nicht zu zweifeln ist. Die weitgehendst von Mineralstoffen befreite Humussäure muß infolgedessen in der Lage sein, die Aufnehmbarkeit der im Sande den Pflanzen noch in geringen Mengen zugänglichen Cu-Mengen zu verhindern. Damit wäre erstmalig erreicht, daß die Urbarmachungskrankheit durch behandelten Humus in einem mit Säure behandelten Sande hervorgerufen wird, in dem sie ohne Zusatz dieser Humussäure nicht aufzutreten vermag. Ob dabei eine Adsorption oder aber eine Absorption eine Rolle spielt, mag zunächst dahingestellt bleiben. Auf die Festlegung des Kupfers werden die Kolloideigenschaften des Humus einen entscheidenden Einfluß ausüben. Die genaue Untersuchung der Sorptionsmöglichkeiten durch Humusstoffe dürfte auf diesem Gebiet die nötige Aufklärung bringen.

Sollten sich jedenfalls diese Versuche, die in der nächsten Vegetationsperiode in geeigneter Weise modifiziert wiederholt werden sollen, bestätigen, so ist damit ein direkter Beweis für die Annahme erbracht, daß das Kupfer in den Böden durch eine besondere Art von Humus festgelegt wird. Wie weit dieser Humus mit dem in den urbarmachungskranken Böden vorhandenen identisch ist, muß noch eine chemische Untersuchung ergeben. Zur Aufklärung über die unterschiedliche Festlegung des Kupfers durch die behandelte und unbehandelte „Acidum-huminicum nach Merck", wurden je 10 g, berechnet auf Trockensubstanz, mit 50 ccm einer 2,5 mg Cu enthaltenen Kupfersulfatlösung vier Tage lang digeriert und dann der Kupfergehalt in den Filtraten ermittelt. Auf diese Weise wurde im Filtrat der unbehandelten Humussäure 1,13 mg Cu und im Filtrat der behandelten Humussäure 0,017 mg Cu wiedergefunden. Auch

dieser Versuch zeigt das bedeutend größere Adsorptionsvermögen der mit HCl behandelten gegenüber der unbehandelten Humussäure und den nicht geringen Einfluß, den die Adsorptionsfähigkeit eines Bodens auf die Wirkung des Kupfersalzes im Boden ausüben kann. Es sei hier auf die Beobachtung hingewiesen, daß die Stärke der Erkrankung der Pflanzen auf Heideböden fast immer mit deren Humusgehalt parallel geht.

Die Urbarmachungskrankheit in mit Salzsäure ausgezogenem Hochmoorboden hervorzurufen, gelang in diesen Versuchen nicht. Eine Erklärung dafür kann vielleicht durch die noch verhältnismäßig große Menge an wasserlöslichem Kupfer gegeben werden, die z. B. bedeutend größer ist als in der mit Salzsäure behandelten Humussäure. Hinzu kommt ferner, daß durch die Behandlung mit Salzsäure zwar der größte Teil der Mineralstoffe, sowie auch Hemizellulosen und Eiweißstoffe in Lösung gehen, dagegen alle benzol- und alkohollöslichen organischen Bestandteile wie Extrakt-Bitumina usw. zurückbleiben. Dadurch besteht weiter die Möglichkeit, daß das Festhaltungsvermögen für Kupfer beeinflußt wird. Dieser so hergestellte Humus unterscheidet sich daher anscheinend noch wesentlich von dem der „Acidum-huminicum nach Merck“ und dem Humus in den kranken Heidemoorböden. Wie schon erwähnt, kann erst die chemische Untersuchung die nötige Aufklärung darüber geben.

Um die Rolle des schwarzen, stark zersetzten Heidehumus, des vermutlichen „Trägers“ der Krankheit, bei der pflanzenunlöslichen Festlegung des Kupfers weiter zu klären, wurden Vegetationsversuche mit dem urbarmachungskranken Heidesand aus dem Königsmoor durchgeführt.

Smith (8) glaubte, einen Giftstoff aus dem Heidehumus isoliert zu haben, genannt „Gliedine“, auf den die Ursache der Urbarmachungskrankheit beim Hafer zurückzuführen sei. Durch frühere Arbeiten der Moorversuchsstation wurde bereits nachgewiesen, daß dieser Giftstoff selbst bei dem aus Holland bezogenen Material (11) nicht zu isolieren war. Bisher konnte auch von keiner anderen Seite dieser Stoff dargestellt werden. Smith und auch Jörgensen (11) wiesen ferner nach, daß durch langeres Erhitzen des Bodens auf 100° die Heidemoorkrankheit nicht auftritt.

Es kann daraus geschlossen werden, daß durch das Erhitzen gewisse Reaktionen ausgelöst werden, die entweder zur Unschädlichmachung, d. h. Zersetzung dieses „Giftstoffes“ führen oder ein Entweichen dieses Stoffes zur Folge haben. Ferner besteht die Möglichkeit, daß durch das Erhitzen das im Boden vorhandene Kupfer durch die Pflanzen leichter aufnehmbar gemacht wird, wobei an das Löslichwerden von Nährstoffen durch Trocknen der Moorböden erinnert sei.

Um zunächst einmal die Festlegung von Kupfer im frischen und bei 110° im Trockenschrank getrockneten urbarmachungskranken Heidesand zu bestimmen, wurden je 50 g Boden mit 200 ccm einer 10 mg Cu enthaltenen Kupfersulfatlösung vier Tage digeriert und in den Filtraten das Kupfer bestimmt. Dabei wurden im Filtrat der unbehandelten Probe im Mittel 0,109 mg Cu,

in der behandelten 0,440 mg Cu wiedergefunden. Dieser Versuch zeigt, daß der unbehandelte Boden mehr Kupfer festzuhalten vermag als der behandelte, trotzdem ist die wiedergefundene vierfache Cu-Menge im Vergleich zu der zugegebenen verhältnismäßig gering. Es besteht allerdings die Möglichkeit, daß das zurückgehaltene Kupfer im Rückstand des behandelten Bodens nur sehr lose gebunden und zum großen Teil wasserlöslich ist, was noch näher untersucht werden soll. Ferner wurde die interessante Beobachtung gemacht, daß sich das Filtrat des getrockneten Bodens nach weiteren zwei Tagen trübte und der pH von 4,58 auf 6,59 anstieg. Das Filtrat des frischen Bodens erfuhr dagegen selbst nach sechswöchentlichem Stehen keine Trübung, und auch der pH blieb der gleiche. (S. Tab. 6.) Die Untersuchung der getrübten Probe ergab unter dem Mikroskop die Bildung von Schimmelpilz. Ein auf Grund dieser Beobachtung mit frischem und getrocknetem kranken Heidesand angesetzter Fäulnisversuch fiel dagegen zugunsten des frischen Bodens aus. Auch nach Impfung der Bodenproben mit Gartenerde war die gefundene Menge Ammoniak-Stickstoff in dem frischen Boden erheblich höher. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet sollen folgen. Auf Grund der bisherigen Ergebnisse darf man annehmen, daß durch das Erhitzen neben Kupfer auch bisher festgehaltene Nährstoffe in Lösung gehen und der Schimmelpilz in dem Filtrat des getrockneten Bodens zum Wachsen eine sehr geeignete Nährlösung vorfindet.

Diese Annahme wird, soweit es das Kupfer angeht, durch nachfolgende Versuche bestätigt. Zur Bestimmung des Löslichwerdens von Kupfer durch Trocknen bzw. längeres Erhitzen im urbarmachungskranken Heidesand wurden Proben dieses Bodens:

1. Vier Monate bei Zimmertemperatur,
2. sieben Tage bei 110° im Trockenschrank und
3. zehn Tage im Destillationskolben bei 130° getrocknet, wobei im letzten Fall die übergehenden Destillationsprodukte in Wasser aufgefangen und einer getrockneten Bodenprobe später wieder zugesetzt wurden. Mit diesen so behandelten Bodenproben des Heidesandes, sowie mit einer frischen und gut durchlüfteten Probe wurden je zwei Vegetationsversuche durchgeführt. Als Gießwasser wurde zweimal über Glas destilliertes Wasser und als Düngung vollständig kupferfreie Salze gegeben, entsprechend den im Feldversuch üblichen Mengen von 100 kg Phosphorsäure, 150 kg Kali und 50 kg Stickstoff je ha.

Die Ergebnisse waren folgende: In dem unbehandelten und durchlüfteten, sowie dem bei Zimmertemperatur getrockneten Boden trat die Krankheit im starken Maße auf. Dagegen machten sich die typischen Anzeichen der Heidemoorkrankheit in den sieben Tage bei 110° getrockneten und den im Destillationskolben auf 130° erhitzten Proben auch bei Zusatz des übergegangenen Destillates nicht bemerkbar.

Damit konnten die Versuche von Smith und von Jörgensen bestätigt werden, soweit sie die Verhinderung der Urbarmachungskrankheit betrafen. Die Begründung für das Nichtauftreten der

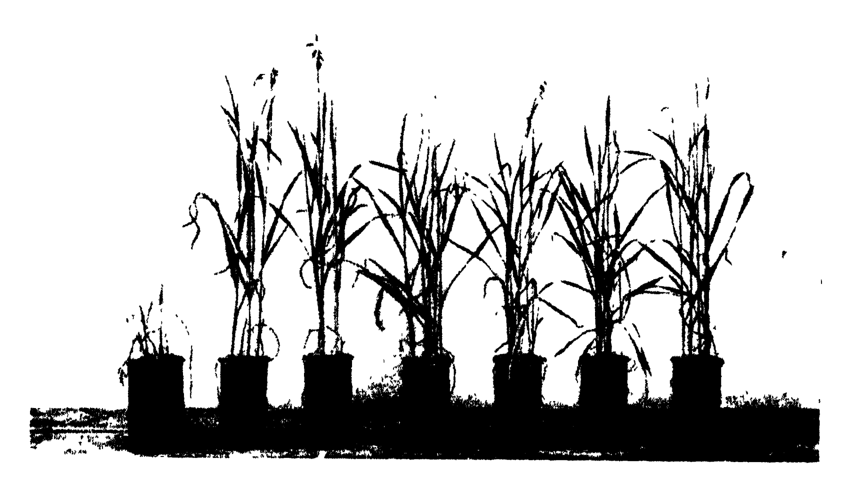


Abb. 1 zeigt, von rechts nach links gesehen, in den ersten zwei Gefäßen die Urbarmachungskrankheit im frischen, in den nächsten beiden im durchlufteten und dann im bei Zimmertemperatur getrockneten kranken Heidesand. Das letzte Gefäß zeigt die Urbarmachungskrankheit sehr stark in behandeltem Sand, dem mit Salzsäure ausgezogene „Acidum-huminicum nach Merck" zugesetzt wurde.

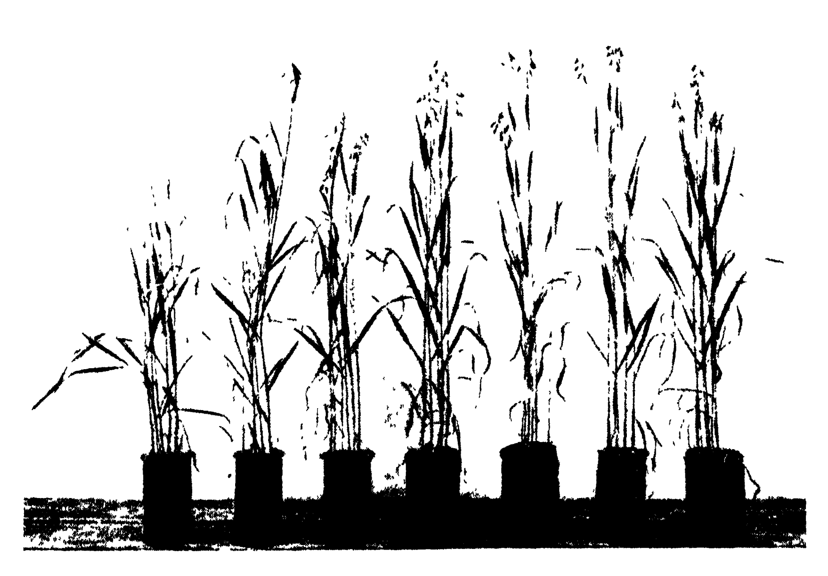


Abb. 2 zeigt, ebenfalls von rechts nach links gesehen, in je zwei Gefäßen gesunde Pflanzen im gleichen kranken Heidesand, der bei 110°, bei 130° und bei 130° (+ Destillat) getrocknet wurde. Das letzte Gefäß zeigt zum Vergleich die Urbarmachungskrankheit im frischen Boden.

Tabelle 4.

Boden	Trockensubstanz %	Erträge in g für 4 Pflanzen Korn g	Stroh und Spreu g
Frischer urbarmachungskranker Heidesand . .	97,82	0,04	1,967
Durchlüfteter kranker Boden	98,42	0,06	1,44
Bei Zimmertemperatur getrockneter kranker Boden	99,05	0,04	1,76
7 Tage bei 110° C getrockneter kranker Boden .	99,98	0,289	1,925
10 Tage im Destillationskolben auf 130° C getrockneter kranker Boden	99,97	0,35	2,177
Bei 110° C getrockneter krank. Boden u. Destillat	99,98	0,26	2,234

Krankheit in den erhitzten Proben wie das Entweichen eines Giftstoffes oder die Inaktivierung der giftigen organischen Bestandteile scheint dagegen nicht zutreffend zu sein. Würde das Erhitzen das Entweichen eines giftigen Stoffes zur Folge haben, so hätte sich dieser — falls er unzersetzt übergeht — in dem wässerigen Destillat bemerkbar machen bzw. bei Zugabe zu den Gefäßversuchen einen Einfluß auf die Pflanzen ausüben müssen. Dieses war nicht der Fall. Es bliebe daher noch die Annahme einer Inaktivierung der giftigen organischen Bestandteile. Aber auch diese Annahme kann durch die weiter unten beschriebenen Versuche zum mindesten nicht gestützt werden.

Das Auftreten der Krankheit in den Gefäßen mit dem unbehandelten Boden, dem durchlüfteten und dem bei Zimmertemperatur getrockneten Boden bestätigt zunächst die vorjährigen Versuche, die ergaben, daß die Krankheit auch bei genügender Bewässerung unter der Voraussetzung, daß kupferfreies Wasser und kupferfreie Düngemittel verwendet werden, in starkem Maße bei dem genannten Boden auftritt. Da ferner die Krankheit auf dem durchlüfteten Boden, der sechs Monate unter häufigem Umrühren ausgebreitet an der Luft liegen gelassen wurde, und auch auf dem zirka vier Monate bei Zimmertemperatur getrockneten Boden auftrat, ist das Auftreten der Krankheit infolge Aufnahme von schädlich wirkendem Eisen durch die Getreidepflanzen, wie sie von amerikanischen Forschern (12, 13) auf heidesandähnlichen Böden angenommen wird, unwahrscheinlich. Durch das Liegen und Trocknen an der Luft unter häufigem Umrühren dürften doch wohl genügende Mengen Sauerstoff zugeführt werden, die im Boden das schädliche zweiwertige Eisen durch Oxydation in die dreiwertige Form überführen, so daß eine Anreicherung des zweiwertigen Eisens durch reduzierende Vorgänge im Boden aus-

geschlossen erscheint. Jedenfalls müßten noch weitere Arbeiten auf diesem Gebiet neue Erkenntnisse bringen.

Die Vegetationsversuche mit dem gut durchlüfteten und häufig durchgearbeiteten urbarmachungskranken Boden lassen aber weiterhin den Schluß zu, daß infolge entsprechender Bodenbearbeitung und guter Belüftung eine Besserung des kranken Bodens, etwa durch eine Mobilisierung des im Boden vorhandenen und für die Pflanze unaufnehmbaren Kupfers nicht erzielt werden kann. Wenn nach jahrelanger Bearbeitung und Düngung eine allmähliche Verbesserung des Bodens erreicht und das Auftreten der Urbarmachungskrankheit bis zu einem gewissen Grade verhindert werden konnte, so wird diese Tatsache weniger auf eine gute Bearbeitung und infolgedessen gute Belüftung des Bodens, als vielmehr auf eine allmähliche Anreicherung des Bodens mit Kupfer durch eine regelmäßige Zuführung einer kupferhaltigen Düngung zurückgeführt werden müssen.

Die Versuchsergebnisse mit dem im Destillationskolben und im Trockenschrank getrockneten urbarmachungskranken Heidesand berechtigten zu der Annahme, daß das im Boden vorhandene Kupfer durch das Erhitzen ähnlich wie bei gewissen Nährstoffen den Pflanzen leichter zugänglich und damit löslicher geworden ist. Es wurde deshalb sowohl der unbehandelte wie auch behandelte urbarmachungskranke Heidesand auf Gesamtkupfer und auf wasserlösliches Kupfer in der oben beschriebenen Weise untersucht. Es sei jedoch betont, daß durch das einstündige Ausschütteln mit Wasser im Laboratorium niemals die wirklichen Lösungsverhältnisse, die im Boden während der Vegetationsperiode durch die Pflanzenwurzeln herrschen, erfaßt werden können. Durch die übermäßig große Wassermenge (1:8) und durch das heftige Schütteln werden Lösungsbedingungen geschaffen, die im Gewächshausversuch in Wirklichkeit nicht vorhanden sind. Die gefundenen Werte für das wasserlösliche Kupfer erfüllen deshalb lediglich als Vergleichswerte ihren Zweck. Unter den nicht kupferfreien Bedingungen im Laboratorium wurden für jede Untersuchung drei Bestimmungen mit zwei blinden Versuchen angesetzt und darin das Kupfer bestimmt. Da trotz sorgfältigen Arbeitens die Werte für die einzelnen Bestimmungen gewisse Schwankungen aufweisen, die sich unter den gegebenen Bedingungen bei gleichzeitig einer gewissen Ungleichmäßigkeit des Bodens und solchen kleinen Kupfermengen nicht vermeiden lassen, wurden in der Tabelle 5 nur die Mittelwerte angegeben.

Wie man aus dieser Tabelle sieht, liegen die Werte für das wasserlösliche Kupfer in den stark getrockneten Böden ein wenig höher als die der nicht getrockneten Böden. Die geringen Unterschiede sind zum Teil darauf zurückzuführen, daß bei den frischen und lufttrockenen Bodenproben stets kolloide Lösungen durch das Filter gehen, die geringe Kupfermengen adsorbiert

Tabelle 5.

Boden	Gesamt-Cu in mg im Mittel	Wasserlösliches Cu im Mittel in mg
Frischer urbarmachungskranker Heidesand 0—10 cm	9,4	0,21
Frischer urbarmachungskranker Heidesand 10—20 cm	9,35	0,30
Durchlüfteter kranker Heidesand 0—10 cm	10,01	0,29
Durchlüfteter kranker Heidesand 10—20 cm	9,89	0,29
Bei Zimmertemperatur getrockneter Heidesand 0—10 cm	10,83	0,31
Bei Zimmertemperatur getrockneter Heidesand 10—20 cm	7,90	0,19
7 Tage auf 110° erhitzter Heidesand 8—10 cm	8,39	0,35
7 Tage auf 110° erhitzter Heidesand 10—20 cm	7,63	0,35
Im Destillations-Kolben 10 Tage auf 110° erhitzter Heidesand 0—10 cm	9,11	0,29
Im Destillations-Kolben 10 Tage auf 110° erhitzter Heidesand 10—20 cm	8,05	0,39

haben. Die Filtrate dieser Proben waren daher im Gegensatz zu den schwachgefärbten Filtraten der stark getrockneten Böden sehr stark gelb gefärbt.

Größere Unterschiede in den Werten für lösliches Kupfer werden erreicht, wenn man den frischen und stark getrockneten Boden mit den nachgenannten Salzen ausschüttelt. Die Filtrate des frischen Bodens waren alle vollständig klar und farblos, während die des getrockneten Bodens eine schwache Gelbfärbung zeigten. Die Böden wurden mit KCl, $CaCl_2$, $BaSO_4$ und $Al(OH)_3$, die den Bodenproben teils in Lösung, teils in fester Form, entsprechend einer $^1/_2$-n-Lösung zugesetzt wurden, ausgeschüttelt. Das Verhältnis Boden : Lösung betrug 50 : 400 und die Ausschüttelungsdauer eine Stunde. Von dem Filtrat wurden 200 ccm, denen zur Zerstörung der in sehr geringer Menge vorhandenen organischen Substanzen 20 ccm Perhydrol zugesetzt wurden, eingedampft. Gleichzeitig wurden die entsprechenden blinden Versuche angesetzt. Die Aufarbeitung erfolgte in der bereits angegebenen Weise. Nach dem Abfiltrieren des Rückstandes wurde das Filtrat auf 125 ccm aufgefüllt und in 25 ccm der Lösung, entsprechend 5 g Boden, das Kupfer bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 aufgezeichnet.

Bei Betrachtung der auf 1 kg Boden berechneten Cu-Werte zeigt sich, daß für den getrockneten Boden Werte gefunden wurden, die mehr als das Doppelte und Dreifache von denen des

Tabelle 6.

Frischer urbarmachungskranker Heidesand				Getrockneter urbarmachungskranker Heidesand		
Salz	pH	Farbung des Filtrats	gefund. Cu-Mengen in 1 kg	pH	Färbung des Filtrats	gefund. Cu-Mengen in 1 kg
$^1/_2$ n KCl	4,24	farblos	0,21 mg	4,12	schwach gelb	0,61 mg
$^1/_2$ n $BaSO_4$	5,19	farblos	0,12 mg	4,78	schwach gelb	0,35 mg
$^1/_2$ n. $Al(OH)_3$	6,36	farblos	0,10 mg	5,86	schwach gelb	0,21 mg
$^1/_2$ n $CaCl_2$	5,77	schwach gelb	0,28 mg	3,92	gelb	0,71 mg
50 g Boden mit 20 ccm $CuSO_4$-Lösung, enthaltend 10 mg Cu, digeriert	4,71	stark gelb gefarbt	0,107 mg	4,58	stark gelb gefärbt	0,440 mg

frischen Bodens betragen. Bei einem Vergleich der Cu und pH-Werte ergibt sich, daß die pH-Werte im getrockneten Boden niedriger sind als im frischen Boden, und daß die gefundenen Cu-Mengen um so höher sind, je niedriger die pH-Werte sind. Die Ergebnisse beweisen, daß in dem getrockneten Boden eine stärkere Umsetzung als in dem frischen Boden stattgefunden hat und demnach die erwartete Wirkung des Trocknens eingetroffen ist. Damit findet die Annahme eine Stütze, daß durch das längere Erhitzen das im Boden vorhandene Kupfer den Pflanzen zugänglicher wird und nur durch die Wirkung des Kupfers die Urbarmachungskrankheit in den getrockneten Böden verhindert wird. Die Erklärung dafür liegt in der kolloiden Beschaffenheit des Humus. Bekanntlich rechnet man die Humusstoffe zu den hydrophilen Kolloiden, die von einer mehr oder weniger starken Hydrathülle umgeben sind. Eine sehr wichtige Eigenschaft der hydrophilen Kolloide ist ihre Schutzwirkung. Sie umlagern die verschiedensten gelösten Stoffe und verhindern damit deren Umsetzung oder das Ausfallen eines Niederschlages, indem sie den Stoff in kolloider Lösung halten. Infolgedessen flocken diese Kolloide erst bei Zusatz von Salzen aus, wenn diese in hohen Konzentrationen gegeben werden. Im Boden wirkt das Humussol als Schutzkolloid und verhindert durch seine Anwesenheit wichtige Bodenbildungsprozesse. Durch die Kolloide werden daher die Stoffe je nach Art der Kolloidwirkung in mehr oder weniger fester Bindung festgehalten werden. In dem urbarmachungskranken Heidesand scheint nach den Versuchsergebnissen das Kupfer durch eine gewisse Art von Humus in so fester kolloider Bindung vorzuliegen, daß es nicht ohne

weiteres den Pflanzen zugänglich ist. Durch die energische Entziehung von Wasser gehen die reversibelen hydrophilen Kolloide in die irreversibelen hydrophoben wasserärmeren Kolloide über bzw. wird das ganze kolloide Gefüge der Moorsubstanz verändert und die Oberfläche und damit die Adsorptionskraft vermindert. Dadurch wird aber bewirkt, daß gewisse Nährstoffe und auch das Kupfer den Pflanzen leichter zugänglich sind. Dieses wird bewiesen durch den Versuch mit der bei Zimmertemperatur getrockneten Bodenprobe. Die Urbarmachungskrankheit tritt hier in der gleichen Stärke auf, wie bei dem unbehandelten Boden. Durch die hier angewandte milde Wasserentziehung sind bei erneutem Wasserzusatz die hydrophilen Kolloide reversibel und üben ihre starke Adsorptionsfähigkeit in unvermindertem Maße aus. In trockenen Sommern findet bis zu einem gewissen Grade eine Austrocknung des Bodens und damit ebenfalls eine verhältnismäßig milde Wasserentziehung statt, die neben einer geringeren Nährstoffaufnahme besonders aber eine Stockung in der Versorgung mit Kupfer im kranken Boden zur Folge hat und nunmehr die typischen Erscheinungen der Urbarmachungskrankheit schon nach sehr kurzer Zeit in starkem Maße hervortreten läßt. Durch das Austrocknen dürfte aber eine durchgreifende Veränderung der hydrophilen Kolloide nicht eintreten, und diese üben deshalb nach eintretender stärkerer Benetzung des Bodens wieder ihre Adsorptionsfähigkeit aus. Damit ist aber den Pflanzenwurzeln eine bessere Ausnutzung des Kupfers, welches vielleicht durch das Austrocknen bei wieder stärkerer Anfeuchtung zur Verfügung stände, unmöglich gemacht. Durch das längere Erhitzen auf über 100° tritt demnach wohl keine Inaktivierung „giftiger" organischer Bestandteile ein, wie Jörgensen (11) annimmt, sondern es wird lediglich das kolloide Gefüge des Humusstoffes gestört und damit das von diesem festgehaltene Kupfer den Pflanzen zugänglich gemacht.

Der Versuch mit der mit Salzsäure behandelten Humussäure zeigt das Auftreten der Heidemoorkrankheit in sehr starkem Maße. Sollte sich dieser Versuch auch in abgeänderter Form bestätigen, so besitzt, wie auch das Digerieren mit Kupfersulfatlösung zeigt, diese behandelte Humussäure in besonderem Maße die Eigenschaft, Kupfer in adsorptiver oder absorptiver Bindung festzulegen. Ob der Humus in dem urbarmachungskranken Heidesand von der gleichen Beschaffenheit ist, muß die chemische Untersuchung des Humus nach den neuen von Simon und Springer ausgearbeiteten Methoden ergeben.

Zusammenfassung.

Abschließend kann festgestellt werden, daß alle hier angeführten Versuche für einen Mangel an pflanzenverfügbarem Kupfer im Boden sprechen und dieser als Ursache für die Urbarmachungskrankheit angenommen werden muß.

Die Beweise dafür sind folgende:

1. In absolut kupferfreien Wasserkulturen (5, 14, 1), bei denen ein kranker Boden überhaupt nicht beteiligt ist, gelang es, die gleichen Symptome zu erhalten, wie sie auf heidemoorkranken Böden auftreten.

2. Die Krankheitserscheinungen treten auch bei reichlichster Wasserversorgung im Gefäßversuch auf, wenn dafür Sorge getragen wird, daß kupferfreie Nährsalze und kupferfreies Gießwasser verwendet werden. Gewöhnlich destilliertes Wasser und Leitungswasser übten bereits einen günstigen Einfluß aus (1).

3. Eine Heilung der Urbarmachungskrankheit erfolgt auch dann, wenn man nicht dem Boden, sondern lediglich der Pflanze auf dem Wege über die Blätter das Kupfer zuführt (6, 7).

4. Die Urbarmachungskrankheit konnte auch im mit Salzsäure behandelten Sand durch Zusatz von mit Salzsäure behandelter Humussäure hervorgerufen werden.

5. Durch entsprechende Versuche konnte nachgewiesen werden, daß das Nichtauftreten der Urbarmachungskrankheit durch längeres Erhitzen auf das Löslichwerden von Kupfer zurückzuführen ist.

Da bei Nichtvorhandensein ausreichender Kupfermengen ebenso eine Pflanzen- oder Mangelkrankheit auftritt, wie beim Fehlen eines sogenannten Kernnährstoffes, spielt das Spezialelement Cu die Rolle eines Nährelements. Bei der praktischen Anwendung des Kupfers auf „Mangelböden" ist das Kupfer daher weniger als Heilmittel, sondern als Nährstoff anzusehen, das bereits bei Vorhandensein in geringer Menge oder „Spuren" seine günstige Wirkung als Wuchsfaktor auszuüben vermag.

Schrifttum:

1. Arnd, Th. u. W. Hoffmann: Die Landwirtsch. Versuchsstationen, **71**, 1937, 129.
2. Tacke, Br.: Mitt. d. DLG., 1911, 213.
Hudig: Z. f. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, A **8**, 14.
Meyer-Bahlburg: Nordd. Landw. Ztg., **27**, 1931, 391.
Brüne, Fr.: Mitt. d. Ver. z. Förderung d. Moorkultur i. D. R., **46**, 1933.
Rademacher: Fortschr. d. Landw., **7**, 1932, 457.
3. Beseler: Mitt. d. Ver. z. Förderung d. Moorkultur, **19**, 1901, 211, **20**, 1902, 281, **21**, 1903, 288.
4. Hudig, J., C. Meyer u. J. Goodyhn: Z. f. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, A **8**, 1926/27, 15.
Hudig, J., u. C. Meyer: Medel., Rijkslandbouwproefstn, **19**, Groningen 1925.
5. Brandenburg, E.: Angew. Bot., **16**, 1934, 505, Tijdschr. over plantenzichten, **39**, 1933, 189/192.
6. Rademacher, B.: Arb. a. d. Biol. Reichsanstalt, **21**, 1936, 531.
7. Rademacher, B.: Fortschr. Landw., **7**, 1932, 457, **21**, 1936, 531.
8. Smith: Dissertation Wageningen. 1927.
9. Stolze, E.: Bodenkunde u. Pflanzenernähr., **1**, 1936, 115.
10. Tacke, Br., u. Th. Arnd: Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moorkultur, **47**, 1929, 247.
11. Jörgensen: 210 Bretning fra Statens Forsøgsvirksomhed Plantekultur, 1928, 76/122.
12. Willis u. Piland, Soil Sci.· **37**, 1934, 79, Journ. Agr. Res., **52**, 1936, 465.
13. Willis, L. G.: Mitt. d. Intern. bodenk. Gesellschaft, Bd. XII, Nr. 1937.
14. Schroen, D. A. van: Phytopathol., **26**, 1936, 1106.

Untersuchungen über die Bekämpfung der Heidemoorkrankheit mit Kupferschlacke.

Von **W. Nicolaisen, W. Seelbach** und **B. Leitzke**, Kiel.

Aus dem Institut für Futterbau, Kiel (Direktor: Prof. Dr. W. Nicolaisen).

Eingegangen: 7. Januar 1939.

Über die Verbreitung der Heidemoorkrankheit (Urbarmachungskrankheit, Weißseuche) und ihre Bekämpfung durch Kupfersulfat berichtet Rademacher (4) in umfassender Weise. In zahlreichen eigenen Versuchen konnte die günstige Wirkung des Kupfersulfats bestätigt und der Praxis die Anregung zur Verwendung des Kupfersulfats gegeben werden (1, 2, 3). Die Verwendung des Kupfersulfats für diesen Zweck nimmt größeren Umfang an. Da nun die Erzeugung des Kupfersulfats vornehmlich aus ausländischen Erzen erfolgt, tritt bei vermehrtem Verbrauch des Kupfersulfats eine Belastung der Devisenwirtschaft ein. Daraus ergibt sich das Bedürfnis, nach inländischen Stoffen oder nach Abfallstoffen der Kupferindustrie zu suchen, welche die Aufgabe des Kupfersulfats übernehmen können.

Die vorliegenden Untersuchungen befassen sich mit einem Abfallprodukt der Norddeutschen Affinerie in Hamburg, und zwar mit einer Hochofenschlacke kupferhaltiger Erze. Diese Schlacke wird bisher nur zum Teil, nämlich zur Herstellung von Pflastersteinen, verwendet. Der Rest wandert auf riesige Schutthalden und stellt einen Ballast für den Betrieb dar. Wenn auch die Halden wegen der Vermengung mit anderen ungeeigneten Erzen kaum verwendet werden können, so wird doch die täglich anfallende Schlackenmenge aus der Kupferindustrie auch einen sehr großen Bedarf vollkommen befriedigen können. Unter diesen Umständen mußte eine Untersuchung der Tauglichkeit für unseren Zweck besonders wertvoll und dringend erscheinen.

Bei der vorliegenden gründlichen Ausnutzung der Erze war kein sehr hoher Kupfergehalt zu erwarten. Wir geben nachstehend eine Werksanalyse der Schlacke wieder:

Analyse der Kupferschlacke.

Bestandteile	Schlacke durchschnittlicher Gehalt in %	Schlacke für Versuch verwendet: Gehalt in %
SiO_2	34,0—39,5	39,4
FeO	38,0—45,5	45,33
CaO	4,0—7,0	5,70
ZnO	1,0—6,0	1,90
Pb	0,4—0,8	0,14
Cu	0,4—0,5	0,41
Ni	ca. 0,02	—
Co	ca. 0,08	—
MnO	0,5—1,5	0,33
MgO	0,5—2,0	0,50
Al_2O_3	1,5—3,0	2,56
S	ca. 1,0	—

Neben dem Kupfer enthält die Schlacke in stark unterschiedlichen Mengen eine ganze Reihe anderer Elemente. Wir dürfen nun heute annehmen, daß die Krankheitserscheinungen der Heidemoorkrankheit auf einen Mangel an dem in Spuren als Nährstoff nötigen Element Kupfer zurückzuführen ist. Diese

Tatsache berechtigt zu der weiteren Frage, ob auf den Mangelböden unserer Heidegebiete nicht auch Mangel an weiteren Spurennährstoffen auftritt, welcher durch die vielseitig zusammengesetzte Schlacke gleichzeitig behoben wird. Dabei soll keines der vorhandenen Elemente besonders gekennzeichnet werden. Natürlich muß auch die Möglichkeit einer Schädigung des Wachstums der Pflanze oder ihrer Bekömmlichkeit als Futter beachtet werden.

Die Norddeutsche Affinerie stellte uns dankenswerterweise sämtliche erforderlichen Schlackenmengen kostenlos zur Verfügung, so daß neben Topfversuchen auch große Feldversuche angelegt werden konnten. Um die Schlacke möglichst zugänglich zu machen, wurde ein sehr feiner Mahlungsgrad angeregt. Die Mahlung wurde durch die Fabrik so fein durchgeführt, daß das Streuen einige Schwierigkeiten bereitete. Welcher Mahlungsgrad praktisch anzuraten ist, müssen weitere Versuche ergeben.

Die exakten Versuche wurden im Herbst 1937 im Anschluß an Tastversuche mit Feldversuchen begonnen. Während des Winters 1937/38 kam sodann ein Gefäßversuch im Gewächshaus zur Durchführung, um einige Unterlagen für die weiteren geplanten Versuche mit Sommerung im Frühjahr 1938 zu erhalten. Im Frühjahr 1938 wurden sodann Gemeinschaftsversuche im Rahmen des Forschungsdienstes nach dem gleichen Versuchsplan beschlossen, um diese Frage auf breiterer Grundlage zu klären, vor allem, um die Tauglichkeit in anderen Gebieten Deutschlands zu prüfen. Aus diesen letzten Versuchsreihen wurden keine Ergebnisse veröffentlicht. Sie bestätigen die Ergebnisse der im Gewächshaus durchgeführten Topfversuche. In der Provinz wurde eine größere Anzahl Versuche zu verschiedenen Früchten durchgeführt. Nicht alle Versuche wurden exakt geerntet und ausgewertet, da die Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit der Verteilung des Grades der Erkrankung über die Fläche nicht im voraus zu bestimmen war. Dazu mußte in der Praxis mit Störungen gerechnet werden, die in Versuchswirtschaften von vornherein zu unterbinden sind.

Wichtig erschien uns vor allem, daß sämtliche Versuche aus dem gleichen Posten Schlacke gedüngt wurden, da sie nur so vergleichbar bleiben. Sicher ist, daß innerhalb der Erze nicht nur Unterschiede im Kupfergehalt, sondern auch im Gehalt an anderen Elementen vorhanden sind, und daß unter diesen Bedingungen, noch weiter beeinflußt durch den Verhüttungsprozeß, auch die Schlacke wesentliche Unterschiede in der Zusammensetzung aufweisen kann. Diese Tatsache ist sowohl bei den Prüfungen als auch bei einem etwaigen Einsatz in der Praxis zu beachten.

I. Ergebnisse des Topfversuches mit Hafer im Gewächshaus.

Sämtliche Topfversuche wurden in normalen Mitscherlich-Gefäßen angesetzt und zwar in vierfacher Wiederholung. Der Boden entstammt der

Krume eines stark unter der Heidemoorkrankheit leidenden Feldes in unserem Versuchsgut Lentföhrden. Die Kultivierung des Heidesandbodens ist in den Jahren 1917 bis 1918 erfolgt. Der Boden ist reich an Rohhumus. Die ehemals vorhandene Ortsteinschicht ist mit dem Dampfpflug gebrochen. Der Boden ist bei der Kultivierung gekalkt worden und hat auch in den Folgejahren Kalkgaben erhalten. Beim Beschicken der Töpfe zeigte der Boden folgende Eigenschaften:

	%
Wasserkapazität	48,6
pH in H_2O	4,2
pH in KCl	3,5
CaO-Gehalt nach Passon	0,0297

Je Gefäß wurden 5,4 kg Boden eingefüllt. Als Versuchspflanze wurde der empfindliche Hafer eingesät, und zwar die besonders anfällige Sorte Siegeshafer. Je Gefäß wurden an 25 Pflanzstellen je 2 Korn ausgelegt. Nach dem Aufgang wurde auf 25 Pflanzen je Gefäß vereinzelt.

Als Grunddüngung wurde je Gefaß gegeben:

1,0 g N als NH_4NO_3 gelöst,
1,5 g P_2O_5 als $CaHPO_4$ als Pulver,
2,0 g K_2O als K_2SO_4 gelost.

Die unterschiedliche Behandlung bestand allein in verschieden hohen Gaben an $CuSO_4$ und Kupferschlacke, und zwar erhielt:

Versuchsglied	1	keine Gabe			
„	2	300	kg Schlacke je ha	=	0,942 g je Gefaß
„	3	600	„ „ „ „	=	1,884 „ „ „
„	4	900	„ „ „ „	=	2,826 „ „ „
„	5	1800	„ „ „ „	=	5,652 „ „ „
„	6	3600	„ „ „ „	=	11,304 „ „ „
„	7	50	„ „ „ „	=	0,157 „ „ „
„	8	100	„ „ „ „	=	0,314 „ „ „

Der Versuch wurde am 4. Januar 1938 angesetzt Da die Lichtmenge um diese Zeit für eine normale Entwicklung nicht ausreicht, wurde zusätzlich eine künstliche Beleuchtung verwendet. Sie bestand aus normalen 60 Watt-Osramklarglaslampen. Diese waren zur besseren Ausnutzung des Lichtes mit Spiegelreflektoren versehen. Je qm wurden 650 Kerzen verwendet. Die Beleuchtung erfolgte nachts und zwar sieben Stunden lang. In Verbindung mit der zunehmenden Tageslänge erhält man so einen fast normalen Entwicklungsrhythmus der Haferpflanze Der Kornansatz ist geringer als im Freiland oder bei Gefäßversuchen im Freien. Wichtig für eine normale Entwicklung ist die Regulierung der Temperatur. Die künstliche Beleuchtung ist nur Zusatzbeleuchtung. Bei trubem, dunklen Wetter verschiebt sich das Verhältnis von Assimilation zur Atmung. An solchen Tagen muß deshalb die Temperatur im Gewächshaus besonders niedrig gehalten werden. Wir strebten je nach den Lichtverhältnissen eine Temperatur von 12—20° C an.

Die Entwicklung in den ersten Wochen war vollkommen normal. Bereits vor dem Schossen begann dann aber eine deutliche Differenzierung in der Wuchsfreudigkeit. Die Gefäße ohne zusätzliche Gaben blieben in der Entwicklung zurück. Sowohl die Kupferschlacke wie auch das Kupfersulfat brachten ein deutlich freudiges Wachstum. Während zunächst das Kupfersulfat überlegen schien, rückten sehr bald die hohen Schlackengaben an die erste Stelle. Die Wirkung der Schlacke setzte also etwas später ein, was die Folgerung zuläßt, daß eine zeitige Gabe der Schlacke für eine möglichst schnelle und frühe Wirkung von Bedeutung sein kann. Nach dem Schossen setzte ein starkes Nachschossen ein, was nach den Erfahrungen bei besonderen Belichtungsversuchen beim Hafer auf die kräftige Einwirkung der Märzsonne auf die nur

mäßig mit Licht versorgten Pflanzen zurückgeführt werden kann. Das endgültige Bild der Entwicklung geben die Bilder 1—3 (1489, 1496, 1494), welche am 28. April 1938 aufgenommen wurden, wieder. Die Ernte erfolgte am 13. Mai 1938.

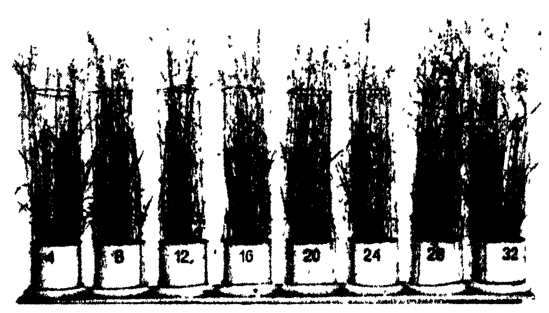


Bild Nr. 1 (1489). Gefäßversuch mit Hafer im Gewächshaus.
Nr. 4 ohne Kupfersulfat und Schlacke,
Nr. 8 mit 600 kg/ha Schlacke,
Nr. 12 mit 600 kg/ha Schlacke,
Nr. 16 mit 900 kg/ha Schlacke,
Nr. 20 mit 50 kg/ha Kupfersulfat,
Nr. 24 mit 100 kg/ha Kupfersulfat, Nr. 28 mit 1800 kg/ha Schlacke,
Nr. 32 mit 3600 kg/ha Schlacke.

Tabelle 1.
Gefäßversuch im Gewächshaus mit Hafer.

Feststellungen bei der Ernte je Gefäß	Zusätzliche Düngung Kupferschlacke je ha in kg						$Cu\,SO_4$ je ha in kg	
	ohne	300	600	900	1800	3600	50	100
Pflanzenzahl bei der Ernte	22	24	25	25	24	24	25	24
Mittlere Pflanzenlänge, cm	85	100	104	110	111	112	102	109
Frischgewicht insgesamt in g . . . . . . A	96	131	130	145	135	144	128	131
m	6,33	2,89	4,88	1,09	5,07	4,16	7,79	1,81
Gewicht insgesamt bei 100°/₀ Trockensubstanz in g . . . . . . A	24,03	34,44	32,68	39,78	46,80	52,78	37,76	34,43
m	3,24	1,51	2,20	1,55	1,50	1,95	2,80	2,45
Gesamtkorngewicht bei 100°/₀ Trockensubstanz in g . . . . . . A	0,15	0,95	1,18	2,28	4,42	5,23	2,13	1,68
m	0,04	0,14	0,21	0,28	0,22	0,33	0,23	0,15
Darin: Gewicht der vollen Körner in g	0,00	0,06	0,25	0,78	2,43	2,96	0,26	0,41
Gewicht der tauben Körner in g	0,15	0,89	0,93	1,50	1,99	2,27	1,87	1,27
Zahl der vollen Körner .	0,00	2,25	9,25	32,33	64,25	103,00	8,25	19,00
1000-Korngewicht . . .	—	29,22	27,30	31,86	37,95	38,44	31,94	29,37
Strohgewicht in g bei 100°/₀ Trockensubstanz . . .	23,88	33,49	31,50	37,50	42,38	47,55	35,63	32,75
Davon Nachschosser . .	22,00	27,10	26,10	27,20	28,20	32,50	24,80	23,20
Reifes Stroh	1,88	6,39	5,40	10,30	14,18	15,05	10,83	9,55

Das Ergebnis des Versuches ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Es wurden nicht lediglich die Erträge an Korn ermittelt, sondern darüber hinaus Feststellungen über die Struktur des Ertrages gemacht.

Die Pflanzenzahl je Gefäß bei der Ernte entspricht fast überall dem Soll von 25. Am niedrigsten liegt sie in den Gefäßen ohne Schlacken- und Kupfersulfatgaben.

Die mittlere Pflanzenlänge spiegelt deutlich das Bild der Entwicklung wieder. Ohne zusätzliche Düngung blieben die Pflanzen nur kurz, sie schoßten schlechter aus. Mit Steigerung

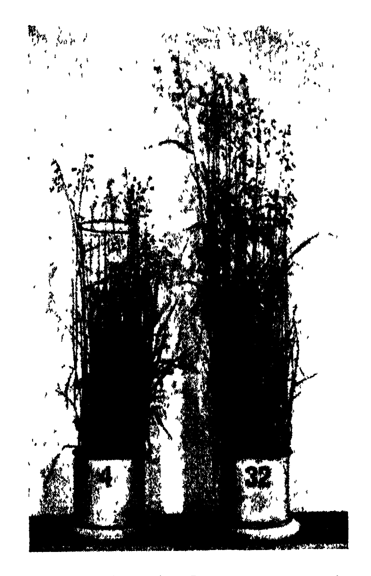


Bild Nr. 2 (1496). Gefaßversuch mit Hafer im Gewächshaus.
Nr. 4 ohne Kupfersulfat und Schlacke,
Nr. 32 mit 3600 kg/ha Schlacke.



Bild Nr. 3 (1494). Gefaßversuch mit Hafer im Gewächshaus.
Nr. 4 ohne Kupfersulfat und Schlacke,
Nr. 24 mit 100 kg Kupfersulfat.

der Schlackengabe steigt die Pflanzenlänge an. Auch die Kupfersulfatgaben steigerten eindeutig das Längenwachstum. Die Wirkung der 50-kg-Gabe entsprach etwa derjenigen von 300—600 kg Kupferschlacke und diejenige der 100-kg-Kupfersulfatgabe derjenigen der Schlackengabe von 600—900 kg/ha.

Die Steigerung des Frischgewichts der Gesamtpflanzen bei der Ernte verläuft in der gleichen Linie wie die der Pflanzenlänge. Die Wirkung des Kupfersulfats bleibt dabei etwas zurück. Eine Behandlung des Frischgewichts im Einzelnen muß unterbleiben, da es vom Feuchtigkeitszustand stark bestimmt ist und diese eine Funktion des Anteiles an Nachschossern ist.

Ein klares Bild vermittelt die Ernte an Trockengewicht, nach der üblichen Trocknung bei 100° C. Hier ist eine deutliche Linie vorhanden. Mit der Steigerung der Schlackengabe steigt

der Ertrag an Trockenmasse stark an. Die gerade Linie wird etwas unterbrochen durch einen geringen Ertragsrückgang bei der Steigerung der Schlackengabe von 300 auf 600 kg je ha. Diese Unschönheit kehrte bei mehreren Werten dieser Versuchsreihe wieder. Wieder liegen die Ertragswerte bei den Kupfersulfatgaben unter der Wirkung der Schlackengabe von 900 kg/ha.

Die Aufteilung der Gesamternte in Korn- und Strohernte bringt einen weiteren Einblick in die Ertragsverhältnisse. Die Gesamternte an trockenem Korn folgt wieder der Höhe der Schlackengabe. Dabei ist eine besonders günstige Wirkung der Steigerung der Gabe von 900 auf 1800 kg festzustellen. Die Gesundung ist hier also mit 900 kg je ha noch nicht vollständig erreicht, sondern die zweiten 900 kg vermögen die Wirkung der ersten 900 kg noch einmal zu wiederholen. Wiederum bleibt die Wirkung beider Prüfungsglieder mit Kupfersulfat hinter derjenigen der Schlackengabe von 900 kg zurück. Den besten Einblick in die Ertragsstruktur vermittelt aber die Trennung der Kornernte in voll und taub. Es ist ja eine typische Erscheinung dieser Krankheit, daß bei einem bestimmten Grad des Befalls wohl normales Ausschossen des Hafers erfolgt, der Kornansatz aber unterbleibt, d. h. die Rispen bleiben taub. Die nähere Untersuchung zeigt nun, daß ein großer Teil der geernteten Körner taub war. Die Gesamternte an tauben Körnern steigt mit der Stärke der Kupferschlackengabe an. Diese Steigerung darf jedoch nicht falsch gewertet werden, da hier der Gesamtertrag eine Rolle spielt. Hier interessiert vor allem die Ernte an Körnern und das Verhältnis von vollen zu tauben Körnern. Auf die Ausbildung von vollen Körnern hat die Kupferschlacke eine günstige Wirkung ausgeübt. Ohne zusätzliche Düngung wurden keine vollen Körner ausgebildet. Das Gewicht an vollen Körnern steigt mit der Höhe der Schlackengabe. Hier tritt nun die günstige Wirkung der hohen Gabe von 1800 kg Schlacke besonders deutlich zutage. Wenn auch der Kornansatz generell unter den Gewächshausbedingungen als niedrig angesprochen werden muß, so bleibt doch deutlich, daß die Gabe von 900 kg Schlacke nicht genügte. Auch die hohe Gabe von 3600 kg Schlacke brachte eine weitere Steigerung des Ansatzes an vollen Körnern [siehe auch Bild 4 (1734)]. Von der Schlackengabe von 1800 kg ab ist die Ernte an vollen Körnern gewichtsmäßig höher als an tauben Körnern. Die Wirkung von 50 kg Kupfersulfat liegt wieder zwischen derjenigen von 300 und 600 kg Schlacke und diejenige von 100 kg Kupfersulfat zwischen der Wirkung von 600 und 900 kg Schlacke.

Noch augenfälliger tritt die Wirkung hervor, sobald die geerntete Kornzahl je Gefäß verglichen wird. Auch das Tausendkorngewicht erfährt mit Steigerung der Schlackengabe eine deutliche Erhöhung. In anderen Versuchen fanden wir nur selten diese Entwicklung, was darauf zurückgeführt wurde, daß bei höherem Kornansatz eine geringere Ernährung des

einzelnen Kornes von der Pflanze her erfolgt. Im vorliegenden Topfversuch blieb auch der höchste Kornansatz hinter einem normalen Kornansatz weit zurück, so daß die gleichzeitig kräftigeren Pflanzen auch bei höherem Kornansatz eine Steigerung des Einzelkorngewichtes bewirkten. Bestimmungen des Tausendkorngewichtes und des Verhältnisses von vollen zu tauben Körnern bei Feldversuchen kranken meist daran, daß beim



Bild Nr. 4 (1734). Kornernte (volle Körner) des Gefäßversuches mit Hafer im Gewächshaus, von links nach rechts: Nr. 1 ohne Kupfersulfat und Schlacke, Nr. 2 mit 300 kg/ha Schlacke, Nr. 3 mit 600 kg/ha Schlacke, Nr. 4 mit 900 kg/ha Schlacke, Nr. 5 mit 1800 kg/ha Schlacke, Nr. 6 mit 3600 kg/ha Schlacke, Nr. 7 mit 50 kg/ha Kupfersulfat, Nr. 8 mit 100 kg/ha Kupfersulfat.

Dreschen mit der Maschine nicht die Gesamtkornernte anfällt, sondern ein Teil derselben, nämlich taube und leichte Körner, durch den Wind bereits absortiert wird.

Die Aufteilung des Strohgewichtes in Nachschosser und reifes Stroh zeigt, daß die Nachschosser einen wesentlichen Teil der Ernte ausgemacht haben. Die Gesamternte an Nachschossern steigt mit der Kupfer- und Schlackengabe leicht an. Das Verhältnis von reifem Stroh zu Nachschossern wird jedoch mit Steigerung der Schlackengabe immer günstiger, die Ernte an reifem Stroh nimmt stark zu.

Zusammenfassend darf folgendes aus dieser Versuchsreihe abgeleitet werden:

1. Sowohl die Kupferschlacke wie auch das Kupfersulfat haben eine günstige Wirkung auf die Entwicklung des Hafers auf heidemoorkrankem Boden ausgeübt.

2. Die günstige Wirkung besteht in einer Besserung des Ausschossens, der Pflanzenlänge, des Kornansatzes, des Anteiles an vollen Körnern, des Tausendkorngewichtes, des Strohertrages und des Ausreifens des Strohes.

3. Die Wirkung von 50 kg Kupfersulfat lag zwischen der von 300 und 600 kg Kupferschlacke, diejenige von 100 kg Kupfersulfat etwa zwischen der Wirkung von 600 und 900 kg Schlacke. Die Steigerung der Schlackengabe von 900 auf 1800 kg/ha brachte eine weitere starke Förderung und auch die Gabe von 3600 kg/ha vermochte eine weitere Besserung in den genannten Eigenschaften zu bringen.

II. Prüfung der Nachwirkung von Kupferschlacke und Kupfersulfat auf die Zweitfrucht Süßlupine.

Um die Nachwirkung von Kupferschlacke und Kupfersulfat auf eine folgende Frucht zu untersuchen, wurden in den gleichen Gefäßen, in denen der Versuch im Gewächshaus mit Hafer angesetzt war, gelbe Lupinen zur Aussaat gebracht.

Dabei wurde so verfahren, daß die oberen 5 cm je Gefäß kräftig gelockert und dann die Süßlupinen zur Aussaat gebracht wurden. Kupferschlacke und Kupfersulfat wurden nicht neu gegeben. Kali- und Phosphorsäuredüngung wurden in Lösung gegeben und zwar die Hälfte der zum Hafer gedüngten Menge. Die Aussaat erfolgte am 20. Juni, um in die normale Zeit der Entwicklung der Zweitfrucht zu kommen. Es wurde weiterhin mit doppelt über Glas destilliertem Wasser gegossen. Bei einer Aussaat von 25 Korn je Gefäß wurde später auf 15 Pflanzen verzogen.

Bereits wenige Wochen nach dem Aufgang traten deutliche Unterschiede in der Entwicklung der Süßlupine auf. Die geringste Wuchsfreudigkeit zeigte die Süßlupine ohne zusätzliche



Bild Nr. 5 (1711/12). Nachfrucht gelbe Süßlupine nach Hafer des Gewächshausversuches. Nr. 3 ohne Kupfersulfat und Schlacke, Nr. 6 mit 300 kg/ha Kupferschlacke, Nr. 11 mit 600 kg/ha Kupferschlacke, Nr. 13 mit 900 kg/ha Kupferschlacke, Nr. 19 mit 50 kg/ha Kupfersulfat, Nr. 23 mit 100 kg/ha Kupfersulfat, Nr. 27 mit 1800 kg/ha Kupferschlacke, Nr. 31 mit 3600 kg/ha Kupferschlacke.

Gaben. Mit der Steigerung der Kupferschlackengaben stieg die Wuchsfreudigkeit stark an. (Bild 5.) Die Entwicklung bei den beiden Kupfersulfatgaben lag zwischen der Gabe von 900 und 1800 kg Schlacke. Die weitere Entwicklung verlief nun typisch. Es begannen am 27. August die Süßlupinen mit der höchsten Schlackengabe zu blühen, es folgte die Süßlupine mit 1800 kg am 30. August, darauf diejenigen mit den Kupfersulfatgaben am 10. September und dann immer später die übrigen Prüfungsnummern entsprechend der Höhe ihrer Schlackengabe. Zuletzt begannen die unbehandelten Süßlupinen zu blühen, nämlich am 23. September. Mit der Blüte war die Hauptentwicklung bei hoher Schlackengabe abgeschlossen. Es erfolgte ein guter Hülsenansatz (Tab. 2), eine weitere vegetative Entwicklung fand nicht statt. Je weniger Schlacke gegeben wurde, um so mehr blieb die Neigung zur vegetativen Entwicklung bestehen. Im gleichen Sinne wirkte das Kupfersulfat. So wird auch hier wieder deutlich, daß bei dem Auftreten der Heidemoorkrankheit die generative Entwicklung zunächst und am stärksten gestört wird, und daß die vegetative Entwicklung erst bei stärkerem Auftreten leidet. Der Hülsenzahl und dem Hülsengewicht nach ist diese Störung am besten durch die Kupfersulfatgaben behoben worden.

Tabelle 2.
Gelbe Lupinen als Nachfrucht nach Hafer des Gefäßversuches im Gewächshaus.

Feststellungen bei der Ernte je Gefäß	Zusätzliche Düngung Kupferschlacke je ha in kg						Cu SO_4 je ha in kg	
	ohne	300	600	900	1800	3600	50	100
Pflanzenzahl	49	9	12	10	11	11	10	11
Pflanzenlänge in cm	10	55	56	56	54	56	58	64
Blühbeginn	23. 9.	18. 9.	17. 9.	14. 9.	30. 8.	27. 8.	10. 9.	10. 9.
Frischgewicht in g . . A	124	169	158	203	184	145	181	186
m	32,74	17,91	23,34	8,50	11,03	9,23	13,38	20,80
Trockengewicht in g . A	17,51	24,54	22,28	29,84	29,92	26,05	25,56	27,56
m	3,09	3,55	4,85	2,48	1,41	2,43	1,93	4,39
Hülsenzahl	0,25	6	--	21	22	11	22	19
Trockengewicht d. Hülsen	—	1,72	—	2,83	3,35	1,64	5,18	4,29
Trockensubstanz % der Gesamtfrischsubstanz	14,1	15,1	14,1	14,7	16,3	17,9	14,1	14,8

Einen Einblick in den Ablauf der Entwicklung geben auch die Trockensubstanzzahlen beim Abschluß der Versuche. Je stärker die vegetative Entwicklung abgestoppt und die generative Entwicklung eingesetzt hat, je weiter die Pflanze also zur Reife vorgeschritten ist, um so höher ist der Trockensubstanzgehalt (Tab. 2). Entsprechend der später einsetzenden Blüte liegen die Süßlupinen bei Kupfersulfatgaben im Trockensubstanzgehalt zurück. Bei der höchsten Schlackengabe treten bereits Blattverluste durch Abwurf ein. In bezug auf die Gesamternte an Trockensubstanz ist festzustellen, daß Schlacken- und Kupfersulfatgaben eine wesentliche Ertragssteigerung zur Folge hatten.

III. Vergleichende Feldversuche mit Kupferschlacke und Kupfersulfat in der Provinz Schleswig-Holstein.

Wie einleitend festgestellt wurde, wurden von uns neben den Gefäßversuchen eine größere Anzahl Feldversuche auf den kranken Böden des Mittelrückens der Provinz Schleswig-Holstein durchgeführt. Wenn nur ein Teil dieser Versuche zur Auswertung gelang, so war das einmal in den bekannten Schwierigkeiten und Störungen bei Versuchen in der Praxis begründet und zum anderen darin, daß die Mangelkrankheit derart fleckenweise und in der Intensität wechselnd auftritt, daß in manchen Fällen die gewählte Versuchsanordnung zu einem falschen Ergebnis führen würde. Hier wurde auf eine Auswertung der Versuche verzichtet.

Ein besonders unter Heidemoorkrankheit leidendes Gebiet findet sich auf dem Mittelrücken der westlichen Bezirke des Kreises Flensburg. Uns war aus zahlreichen eigenen und fremden Versuchen bekannt, daß hier durch Kupfersulfatgaben entscheidende Ertragsverbesserungen erzielt werden konnten. In diesem Gebiet und zwar in Schafflund und Schafflundfeld wurden

eine Reihe vergleichender Versuche mit Kupferschlacke angelegt und einige derselben ausgewertet.

Ein Versuch beim Bauern Jensen in Schafflund auf Heidesandboden mit Hafer brachte durch Kupfersulfatgaben erhebliche Ertragssteigerungen. (Tab. 3.) Der erzielte Ertrag von

Tabelle 3.

Düngungsversuch zu Hafer bei Jensen, Schafflund.

Nr.	Zusätzliche Düngung	Korn dz/ha	Stroh dz/ha	m %	Korn/Stroh-Verhältnis
1	Ohne	20,33	56,62	3,17	1 : 2,79
2	50 kg/ha Cu SO_4	27,83	63,95	2,43	1 : 2,30
3	100 kg/ha CuSO_4	26,03	67,87	4,62	1 : 2,61
4	3 dz/ha Schlacke	17,77	77,99	3,70	1 : 4,33
5	6 dz/ha Schlacke	19,33	90,37	2,57	1 : 4,68
6	9 dz/ha Schlacke	29,73	47,33	2,51	1 : 1,59

20,33 dz/ha ohne Kupfersulfatgabe zeigt, daß die Erkrankung auf diesem Boden nicht allzu schwer war, wobei darauf hingewiesen werden muß, daß 1938 die Heidemoorkrankheit verhältnismäßig schwach auftrat. Eine Bestimmung des Gehaltes an tauben und vollen Körnern unterblieb aus den früher angeführten Gründen. Eine Steigerung der Kupfersulfatgabe von 50 auf 100 kg/ha brachte keine weiteren Vorteile, sondern eher einen leichten Rückgang im Kornertrag, wie wir hier und da feststellen konnten. Die Kupferschlackengabe in Stärke von 3 und 6 Doppelzentnern reichte in diesem Falle noch nicht aus. Der Rückgang im Kornertrag kann nicht als gesichert angesehen werden. Dagegen ist eindeutig, daß der Strohertrag wesentlich angestiegen ist Es fand also eine starke Steigerung der Gesamtleistung statt, doch blieb bei diesen Mengen noch ein ungesundes Kornstrohverhältnis bestehen. Zur vollen Gesundung führte erst die Gabe von 9 dz Schlacke je ha. Der Strohertrag geht zurück, weil die Bildung der Nachschosser aufhörte. Das Kornstrohverhältnis ist auf die gesunde Größe 1 : 1,59 gedrückt und der Kornertrag liegt am höchsten von allen Versuchsgliedern.

Beim gleichen Bauern Jensen in Schafflund kam auf einem Nachbarschlag ein Düngungsversuch zu Winterroggen zur Durchführung. Roggen ist weniger für die Heidemoorkrankheit empfänglich als Hafer. Aus den Ergebnissen (Tab. 4) darf deshalb

Tabelle 4.

Düngungsversuch zu Winterroggen bei Jensen, Schafflund.

Nr.	Zusätzliche Düngung	Korn dz/ha	Stroh dz/ha	m %	Korn/Stroh-verhältnis
1	Ohne	17,32	33,73	2,839	1 : 1,94
2	50 kg/ha Cu SO_4	24,83	47,01	2,407	2 : 1,90
3	100 kg/ha CuSO_4	26,75	46,73	2,408	1 : 1,75
4	3 dz/ha Schlacke	22,06	41,63	1,44	1 : 1,88
5	6 dz/ha Schlacke	28,32	52,14	3,424	1 : 1,84
6	9 dz/ha Schlacke	28,74	53,14	2,423	1 : 1,85

abgelesen werden, daß die Krankheit ziemlich stark aufgetreten ist. Das Kupfersulfat hat einen bedeutenden Mehrertrag an Korn und Stroh hervorgerufen und auch die Steigerung der Kupferschlackengabe hat weitere Vorteile gebracht und das Kornstrohverhältnis verengt. Aber auch die Kupferschlackengabe war sehr wirksam. Bereits die Gabe von 3 dz/ha brachte eine starke Steigerung des Ertrages; jedoch wurden die Erträge bei Kupfersulfatgabe nicht erreicht. Bei 6 dz/ha Kupferschlacke wurde die Leistung der Kupfersulfatgaben aber bereits übertroffen. Dafür bringt die Steigerung der Schlackengabe auf 9 dz/ha kaum weiteren Erfolg. Die Kupferschlacke hat gleichzeitig eine starke Steigerung der Stroherträge zur Folge.

In dem Versuch mit Winterroggen beim Bauern Berg, Schafflund lag der Ertrag ohne Spezialdüngung etwas höher als in dem Versuch bei Jensen (Tab. 5). Auch hier ist die

Tabelle 5.
Düngungsversuch zu Winterroggen bei Berg, Schafflund.

Nr.	Zusätzliche Düngung	Korn dz/ha	Stroh dz/ha	m %	Korn/Strohverhältnis
1	Ohne	20,92	40,51	1,675	1 : 1,94
2	50 kg/ha $Cu\,SO_4$	25,54	54,42	2,929	1 : 2,13
3	100kg/ha $CuSO_4$	28,28	43,34	0,570	1 : 1,53
4	3 dz/ha Schlacke	28,75	77,17	2,831	1 : 2,68

Ertragssteigerung durch Kupfersulfatgaben wesentlich. Bei einer Steigerung von Kupfersulfatgaben von 50 auf 100 kg/ha konnte eine weitere Kornertragssteigerung erzielt werden. Dabei ging gleichzeitig der Strohertrag wesentlich zurück, so daß ein sehr enges Korn-Strohverhältnis vorliegt. Mit einer Gabe von 3 dz Schlacke je ha wurde die Leistung der Kupfersulfatgabe von 100 kg/ha bereits erzielt. Typisch ist hier wieder ein starkes Ansteigen des Strohertrages durch die Kupferschlackengabe.

In dem gleichen Betriebe des Bauern Berg, Schafflund wurde auf einem Nachbarschlag ein Versuch zu Steckrüben durchgeführt (Tab. 6). Die Steckrübe ist eine der am empfind-

Tabelle 6.
Düngungsversuch zu Steckrüben bei Berg, Schafflund.

Nr.	Zusätzliche Düngung	Ertrag dz/ha	m %	Trockensubstanz in %	Trockensubstanz dz/ha
1	Ohne	448,7	2,71	10,5	47,0
2	50 kg/ha $Cu\,SO_4$	505,6	2,00	11,0	55,6
3	100 kg/ha $Cu\,SO_4$	566,2	1,58	10,4	58,9
4	9 dz/ha Schlacke	576,6	1,75	10,5	60,5

lichsten auf die Heidemoorkrankheit reagierenden Pflanzen. Ein Teil der Pflanzen geht ein, nach dem sich die zu Beginn auf-

tretenden gelblichweißen Flecke über das ganze Blatt ausgedehnt haben, andere Pflanzen bilden keine oder nur kümmerliche Rübenkörper aus. In dem vorliegenden Versuch war nur mäßiger Schaden zu beobachten. Die Kupfersulfatgaben brachten beide eine erhebliche Ertragsverbesserung. Die Steigerung auf 100 kg/ha war von großem Vorteil. Die vergleichend geprüfte Kupferschlacke erzielte bei einer Gabe von 9 dz/ha einen etwas höheren Ertrag als die stärkste Kupfersulfatgabe. Die ermittelten Trockensubstanzzahlen lassen irgendwelche Schlüsse nicht zu. Die Ernte an Trockensubstanz gibt die Relationen der frischen Rüben wieder.

Von den in südlicheren Kreisen angelegten Versuchen konnten wegen unvermeidbarer Störungen fast keine Auswertungen vorgenommen werden. Diese Versuche waren meist auch anders angelegt, da hier Kupfersulfat und Kupferschlake in ihrer Gesamtwirkung auf den Betrieb beobachtet werden sollten. Kupferschlacke und Kupfersulfat schlossen sich im gleichen Betrieb deshalb manchmal aus. Bei einem Vergleich innerhalb eines Betriebes (Baasch, Bokelfeld, Kreis Rendsburg) brachten mit und ohne Schlackengabe folgendes Ergebnis bei Mengkorn:

ohne Kupferschlacke 29,20 dz Korn je ha,
mit 9 dz/ha Kupferschlacke 43,50 dz Korn je ha.

Ein vergleichender Feldversuch zu Steckrüben kam beim Siedler Reinhold in Bokelholm, Kreis Rendsburg zur Durchführung (Tab. 7). Es handelt sich hier um übersandetes Übergangs- und Niederungsmoor. Es waren bedeutende Schäden

Tabelle 7.

Düngungsversuch zu Steckrüben bei Reinhold, Bokelholm.

Nr.	Zusätzliche Düngung	Ertrag dz/ha	m %	Trockensubstanz in %	Trockensubstanz dz/ha
1	Ohne	554,0	9,29	9,44	52,2
2	50 kg Cu SO_4	602,7	4,81	10,80	65,1
3	100 kg Cu SO_4	681,3	8,27	9,98	68,0
4	3 dz/ha Schlacke	599,1	4,21	9,92	59,4
5	6 dz/ha Schlacke	601,3	7,78	9,50	57,1
6	9 dz/ha Schlacke	721,5	3,74	9,68	69,8

durch Urbarmachungskrankheit beobachtet worden. Das unbehandelte Steckrübenteilstück brachte noch einen guten Rübenertrag von 554,0 dz/ha. 50 kg Kupfersulfat konnten den Ertrag auf 602,7 dz Rüben steigern und auch die Verstärkung der Kupfersulfatgabe auf 100 kg/ha verbesserte den Rübenertrag auf 681,3 dz/ha. Die Leistungen von 3 und 6 dz Schlacken je ha entsprachen derjenigen von 50 kg Kupfersulfat. Die hohe Schlackengabe von 9 dz/ha brachte jedoch den höchsten Rübenertrag, der seinem Futterwert nach durch einen etwas geringeren Trockensubstanzgehalt auf den Ertrag der 100-kg-Kupfersulfatgabe gedrückt wird.

Zusammenfassend kann aus den vorliegenden Feldversuchen gefolgert werden, daß die Kupferschlacke auf heidemoorkranken Böden eine sehr gute Wirkung gezeigt hat, die bei stärkeren Gaben die Wirkung des Kupfersulfats übertreffen kann.

IV. Zusammenfassung und Schluß.

Die vergleichenden Gefäß- und Feldversuche mit Kupfersulfat und Kupferschlacke der Norddeutschen Affinerie auf und mit heidemoorkranken Böden des Mittelrückens Schleswig-Holsteins haben erneut bestätigt, daß dem Kupfersulfat bei der Bekämpfung dieser Mangelkrankheit eine große Bedeutung zukommt und gleichzeitig ergeben, daß die Kupferschlacke die Aufgabe des Kupfersulfats übernehmen kann. Eine Gabe von 9 dz Schlacke je ha war entweder der höchsten Gabe an Kupfersulfat, nämlich 100 kg/ha, gleichwertig oder überlegen. In einigen Fällen erreichten auch die niederen Gaben von 3 und 6 dz Schlacke die gleiche Wirkung wie 50 und 100 kg Kupfersulfat. Wie beim Kupfersulfat ist auch bei der Kupferschlacke die optimale Gabe und die obere Grenze für den Einzelfall zu klären. Es sind weitere Versuche zu dieser Frage erforderlich. Dazu ist auch in Feldversuchen zu prüfen, ob noch höhere Kupferschlackengaben Vorteile bringen können. Die Ergebnisse des Topfversuches können hier nicht ohne Nachprüfung übertragen werden.

Die Ergebnisse entstammen einjährigen Versuchen und bedürfen deshalb der Wiederholung. Sie sind in ihrem Erfolg jedoch so positiv und durch zahlreiche Paralleluntersuchungen belegt, daß die Ergebnisse mitgeteilt werden können, um auch zu weiteren Versuchen in anderen Gebieten Deutschlands anzuregen. Wir konnten bereits eine Anzahl Versuche in vollkommen anderer Lage vermitteln. Dazu ist durch den im Rahmen des Forschungsdienstes gegründeten Arbeitskreis die Möglichkeit zur Nachprüfung dieser Ergebnisse auf einigen anderen Böden gegeben.

Die Weiterführung der Versuche muß sich auch mit der Nachwirkung der Kupferschlackenanwendung in Fruchtfolgedüngungsversuchen befassen, um mögliche günstige oder auch ungünstige Nachwirkungen zu erkennen. Wir fordern heute diese Prüfung auch für alle unsere bisher verwendeten Düngemittel, ohne allerdings zu bemängeln, daß wir diese anwandten, ohne in exakter Weise die Nachwirkung vorher geprüft zu haben.

Wir erwähnten eingangs bereits, daß möglicherweise auch günstige Wirkungen durch andere Bestandteile als durch das Kupfer eintreten könnten, da sicher Mangel auch an anderen Stoffen vorliegen kann und andererseits die Schlacke eine außerordentlich vielseitige Zusammensetzung hat. Auch der Gehalt an Kalk und die alkalische Beschaffenheit der Schlacke überhaupt spielen bei den genannten Gaben eine Rolle und sprechen für die Schlackenanwendung.

Es darf aber auch nicht unerwähnt bleiben, daß die Schlacke

auch Metalle, z. B. Blei, enthält, deren Verbleib verfolgt werden muß, um Störungen des Pflanzenwachstums oder gar der Gesundheit von Mensch und Tier rechtzeitig zu erkennen und entsprechend vorzubeugen. Wir haben keinen Anlaß, hier bereits von Befürchtungen zu sprechen, sondern wollen nur zu den erforderlichen Beobachtungen auch an anderer Stelle anregen.

Für die Zusammensetzung der Schlacke sind die Zusammensetzung der Erze und das Verarbeitungsverfahren maßgebend. Es sind deshalb Unterschiede in der Zusammensetzung der Schlacke zu erwarten. Die vorliegenden Ergebnisse gelten für ein Schlackenprodukt der genannten Zusammensetzung. Es bleibt zu untersuchen, wie weit Schlacken mit besonders günstigen oder ungünstigen Eigenschaften anfallen, um durch Auswahl besonders günstiger und Abscheidung ungeeigneter Schlacken zu besonders wertvollen Schlackenmehlen zu kommen.

Am Schluß sei den Bauern, welche uns die Durchführung der Versuche ermöglichten, unser Dank ausgesprochen. Besonders dankbar erwähnen möchten wir auch unsere Mitarbeiterin Ilse Witzig, in deren Händen die technische Durchführung der Gefäßversuche lag.

Schrifttum:

1. Nicolaisen, W., u. W. Seelbach: Untersuchungen über die Kupfersulfatdüngung gegen Urbarmachungskrankheit und Lecksucht. Forschungsdienst, **5**, 1938, 383—387.
2. Nicolaisen, W.: Kupfersulfat gegen Urbarmachungskrankheit und Lecksucht. Mitteilungen fur die Landwirtschaft, **53**, 1938, 339—340.
3. Nicolaisen, W.: Untersuchungen über die Bekampfung von Urbarmachungskrankheit und Lecksucht. Wochenblatt der Landesbauernschaft Schleswig-Holstein, **6**, 1938, 450.
4. Rademacher, B.: Die Heidemoorkrankheit (Urbarmachungskranheit) unter besonderer Berücksichtigung der Kupferfrage. Arbeiten der Biol. Reichsanstalt, **21**, 1936, 531—603. [272]

Untersuchungen über den Arsengehalt von Weinbergsböden und die Aufnahme von Arsen aus arsenhaltigen Böden durch die Reben.

Von **R. Herrmann** und **H. Kretzdorn** (Ref.).

Mitteilung der Staatl. Landw. Versuchsanstalt Augustenberg in Baden.

Eingegangen: 6. Dezember 1938.

Bei der Beurteilung des Vorkommens von Arsen in Traubenmosten und Traubenweinen ist zu berücksichtigen, ob nicht aus arsenhaltigen Böden von den Wurzeln der Reben, im allgemeinen oder unter besonderen Umständen, Arsen aufgenommen und in die einzelnen Pflanzenteile, besonders in die Beeren und den Saft geleitet wird.

Das Vorkommen von Arsen in Traubenmosten und Traubenweinen ist bei Anwendung arsenhaltiger Spritzmittel gegen den Heu- und Sauerwurm im Weinbau leicht erklärlich. Aufgabe unserer Untersuchungen war nun, festzustellen, ob auch bei

Ausschaltung dieser arsenhaltigen Pflanzenschutzmittel Arsen in den einzelnen Teilen der Rebpflanze festgestellt werden konnte.

Für die Versuche stand uns Rebgelände der Landwirtschaftsschule Augustenberg bei Grötzingen (Baden), der Rebenveredlungsanstalt Karlsruhe-Durlach, der Heil- und Pflegeanstalt Wiesloch, sowie der Stadtgemeinde Wiesloch zur Verfügung. Dafür sei auch hier den betreffenden Stellen der Dank für ihre Unterstützung bei unseren Versuchen ausgesprochen.

Die Versuche wurden in den Jahren 1937 und 1938 ausgeführt. Zunächst wurde jeweils im Frühjahr der Arsengehalt der Weinbergsböden festgestellt und im Spätjahr, wenn die Trauben ausgereift waren, der Arsengehalt der einzelnen Pflanzenteile ermittelt. Die Rebstöcke mußten natürlich für diesen Zweck besonders geschützt werden, damit nicht durch irgendwelche Einflüsse von außen her Arsen an die Pflanzenteile gelangen konnte. Dies wurde dadurch erreicht, daß die betreffenden Stöcke beim Bespritzen der Reben mit arsenhaltigen Mitteln einzeln abgedeckt wurden oder eine Bespritzung des ganzen Rebstückes mit Arsen unterblieb.

Die Bodenproben wurden aus nächster Nähe des zu untersuchenden Weinstocks entnommen und zwar aus 3 verschiedenen Tiefen: 0—20 cm, 20—40 cm und 40—60 cm. Sie wurden der bei der Bodenuntersuchung üblichen Vorbereitungsweise unterworfen.

Zur Bestimmung des Arsens wurden 5 g Boden in einem 100 oder 500 cm^3 fassenden Kjeldahlkolben aus arsenfreiem Glas mit 5 cm^3 konzentrierter Schwefelsäure und 10 cm^3 Perhydrol aufgeschlossen. Der Aufschluß nahm etwa 15 Minuten Zeit in Anspruch. Der Rückstand wurde mit destilliertem Wasser in einen 200-cm^3-Meßkolben übergespült und zur Marke aufgefüllt. Von dieser Verdünnung wurde ein aliquoter Teil (z. B. 20 cm^3), in dem nicht mehr als 5 γ Arsen enthalten sein sollen, in ein 100-cm^3-Kjeldahlkölbchen aus arsenfreiem Jenaer Glas gebracht und darin das Arsen nach der Methode von Lockemann (1) bestimmt.

Nach unseren Erfahrungen hat sich folgende Arbeitsweise als geeignet erwiesen:

Zu dem aliquoten Teil der aufgeschlossenen Lösung wird noch soviel konzentrierte Schwefelsäure gegeben, daß die Menge von 1 cm^3 konzentrierter Schwefelsäure erreicht wird. Hierauf dampft man das Wasser bis zum Auftreten von Schwefelsäuredämpfen ab, fügt nach Erkalten 5 cm^3 destilliertes Wasser zu und kühlt wieder ab.

Dann stellt man das Kölbchen mittels Stopfwatte in ein 250 cm^3 Becherglas, in dem etwa 1.5 cm hoch kaltes Wasser sich befindet (siehe Abb. 1). Auf den Kjeldahlkolben wird ein Gummistopfen aufgesetzt, durch den ein zu einer feinen Düse ausgezogenes, 6 cm langes Glasröhrchen gesteckt ist. Über die Düse, deren Spitze eine lichte Weite von 1—1,2 mm hat, wird ein zweites 8 cm langes Glasröhrchen von 4 mm lichter Weite im Schliff aufgesetzt. Dieses zweite Röhrchen enthält ein mit 5%iger alkoholischer Quecksilberbromid-Lösung getränktes Filtrierpapierröllchen[1]), das einige Millimeter über die Düse des ersten Röhrchens reicht (siehe Abb. 2).

[1]) Filtrierpapier von Schleicher & Schüll Nr. 602 „Extra hart". Das getrocknete, imprägnierte Papier wird in kleine Vierecke von 2 : 4 cm geschnitten, die über einen Glasstab zu Röllchen geformt werden.

In den Kjeldahlkolben gibt man nun sechs verkupferte Zinkstückchen[2]), verschließt sofort mit dem Aufsatz, schwenkt um und überläßt die Reaktion $1^1/_2$ Stunden sich selbst.

Gleichzeitig setzt man in einigen Kolben Vergleichslösungen mit bekannten Arsenmengen an. Zu diesem Zweck gibt man in je einen Kolben 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 und 0,5 cm^3 einer Vergleichslösung[3]), die in 1 cm^3 10 γ Arsen enthält. Man fügt auch hier 1 cm^3 konzentrierte Schwefelsäure und 5 cm^3 destillierles Wasser zu und verfahrt bei der Bestimmung weiter, wie oben angegeben. Nach der vorgeschriebenen Zeit nimmt man die Röllchen ab und vergleicht die Färbung des Streifens der unbekannten Lösung

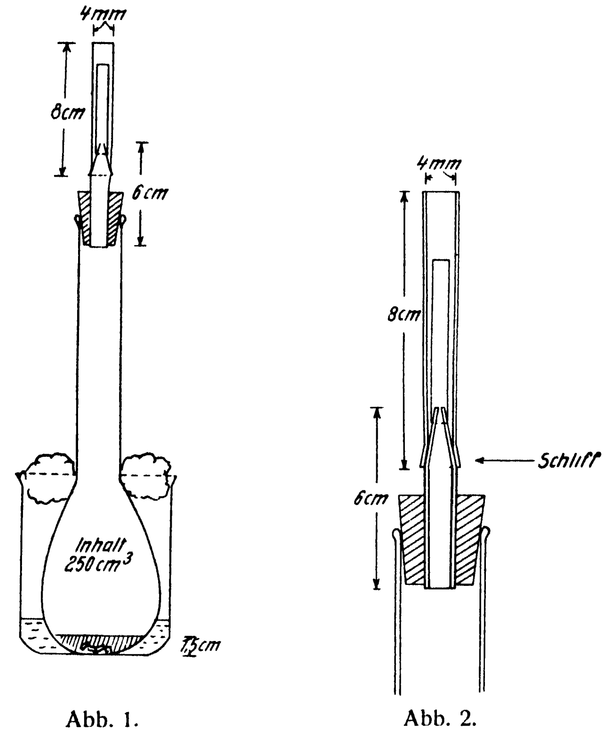


Abb. 1. Abb. 2.

mit den Farbstreifen, die durch die Vergleichslösungen hervorgerufen wurden. Die Methode eignet sich besonders für Reihenbestimmungen. Es kann in kurzer Zeit eine größere Anzahl Analysen ausgeführt werden. Die Arsenmenge wird für 100 g Trockenboden berechnet.

Arsen, das einem Boden von bekanntem Arsengehalt als arsenige Säure zugesetzt wurde, konnte nach dieser Methode in der gleichen Menge wiedergefunden werden.

Bei der Entnahme der Pflanzenteile des Rebstocks wurden

[2]) Arsenfreies Stangenzink pro analysi von 4 mm Durchmesser wird mittels Zwickzange in Stückchen von 0,5—1 cm Länge zerkleinert. Das Überkupfern der Zinkstückchen wird in einer 0,5%igen Kupfersulfatlösung vorgenommen.

[3]) Entsprechend 1, 2, 3, 4, 5 γ Arsen; 0,1320 g As_2O_3 werden in 10 cm^3 2n-Natronlauge gelöst, die Lösung wird mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt; von dieser Stammlösung werden 10 cm^3 auf 100 cm^3 mit destilliertem Wasser nochmals verdünnt; dies stellt die Vergleichslösung dar.

im Herbst von jedem Versuchsstock eine Anzahl Blätter und Trauben geschnitten. Um oberflächlich anhaftendes Arsen zu entfernen, das bei Sturm und Regen durch Aufspritzen vom Boden her oder bei Trockenheit durch Verwehungen an die Pflanzenteile gelangt ist, wurden diese vor der Untersuchung mit warmer, verdünnter Salpetersäure und danach mit destilliertem Wasser abgespült. Die Beeren wurden von den Kämmen entfernt und der Saft wurde von den Häuten durch Abpressen mit einer kleinen Handpresse oder durch Zerdrücken im Porzellanmörser und darauffolgendes Filtrieren getrennt. Die Blätter, Kämme und Häute wurden bei 110° getrocknet, um ihre Trockensubstanz zu bestimmen, auf die der Arsenwert bezogen wurde. 1—2 g der Trockensubstanz oder 1—2 cm³ des Saftes wurden ebenfalls in einem 100-cm³-Kjeldahlkölbchen aus arsenfreiem Jenaer Glas mit 5 cm³ konzentrierter Schwefelsäure und 5—10 cm³ Perhydrol aufgeschlossen. Wenn das Aufschließen bei Kämmen und Blättern Schwierigkeiten bereitete, wurde mit etwas konzentrierter Salpetersäure nachgeholfen; doch wurde sie nach dem Aufschluß durch mehrmaliges Kochen mit destilliertem Wasser entfernt, da sie bei der Arsenbestimmung stört. Die Bestimmung des Arsens wurde sodann gleichfalls nach der oben beschriebenen Methode ausgeführt. Die Arsenwerte wurden auf 100 g Trockensubstanz bzw. auf 1 Liter Saft berechnet.

Zu einem Vorversuch stand uns im Jahre 1937 Rebgelände der Landwirtschaftsschule Augustenberg sowie der Rebenveredlungsanstalt Karlsruhe-Durlach zur Verfügung.

Tabelle 1.

Landwirtschaftsschule Augustenberg. Bodenart: Muschelkalk — Buntsandsteinverwitterung. Reben wurden **nicht** mit Arsen gespritzt. Zeit der Lese: 30.8.1937.

Traubensorte	Arsen im Boden (noch nie rigolt)					Arsen in der Pflanze			
	mg As/100 g Trockenboden		$CaCO_3$ %	pH-Wert in KCl	pH-Wert in H_2O	im Saft	in den Hauten	in den Kämmen	in den Blättern
	Tiefe:								
Riesling	0—20 cm	1,5	15,17	8,20	8,70	0	0	0	0
	20—40 cm	1,2	16,97	8,25	8,74				
	40—60 cm	1,5	16,12	8,30	8,73				
Silvaner	0—20 cm	2,2	10,80	7,92	8,25	0	0	0	0
	20—40 cm	1,8	22,31	8,29	8,53				
	40—60 cm	0,5	20,90	8,20	8,70				
Elbling	0—20 cm	0,5	8,69	8,12	8,67	0	0	0	0
	20—40 cm	1,2	7,53	8,17	8,65				
	40—60 cm	0,5	9,55	8,26	8,70				
Räuschling	0—20 cm	0,5	22,20	8,06	8,40	0	0	0	0
	20—40 cm	1,8	20,35	8,09	8,51				
	40—60 cm	2,2	23,22	8,22	8,40				

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengestellt. Der Versuch: Tabelle 1 wurde mit 4 Rebsorten: Riesling, Silvaner, Elbling und Räuschling ausge-

Tabelle 2. Kaisersberg, Durlach (Rebenveredlungsanstalt).
Bodenart: Muschelkalk. Einmalige Spritzung der Reben vor der Blüte im Frühjahr 1937 mit Nosprasen. Zeit der Lese: 6. 9. 1937.

Traubensorte	Arsen im Boden						Arsen in der Pflanze		
	Boden rigolt	mg As 100 g Trockenboden		$CaCO_3$	pH-Wert in		im Saft	in den Häuten	in den Kämmen
				%	KCl	H_2O	mg As/1 l	mg As/100 g Trockensubstanz	mg As/100 g Trockensubstanz
		Tiefe:							
Kossuthrebe	1932/33	0—20 cm	1,2	26,68	8,24	8,46	0,15	0	1,11
		20—40 cm	2,4	26,68	8,23	8,54			
		40—60 cm	3,5	28,75	8,12	8,50			
Müller-Thurgau . . .	1925/26	0—20 cm	3,0	26,86	8,04	8,38	0	0	1,24
		20—40 cm	2,0	27,56	7,96	8,44			
		40—60 cm	0,6	30,09	8,12	8,40			
Neuburger	1928/29	0—20 cm	1,0	30,79	8,21	8,44	0,10	0	5,59
		20—40 cm	1,0	30,82	8,24	8,30			
		40—60 cm	0,5	33,77	8,27	8,40			
Räuschling	1916/17	0—20 cm	3,8	35,57	8,00	8,39	0,02	0	3,24
		20—40 cm	2,5	35,84	8,16	8,49			
		40—60 cm	1,4	35,34	7,98	8,54			
Ruländer	1922/23	0—20 cm	4,8	32,68	8,00	8,25	0,12	0	1,18
		20—40 cm	1,9	33,52	8,14	8,42			
		40—60 cm	1,2	34,39	8,31	8,52			
Riesling	1904/05	0—20 cm	4,5	30,77	8,05	8,41	0,15	0	0,73
		20—40 cm	4,0	30,77	8,22	8,65			
		40—60 cm	2,8	32,32	8,37	8,88			
Silvaner	1905/06	0—20 cm	5,2	27,86	8,10	8,61	0,10	0	1,11
		20—40 cm	3,0	28,13	8,26	8,57			
		40—60 cm	1,5	28,13	8,21	8,67			
Königin der Weingärten	1932/33	0—20 cm	2,0	32,75	8,42	8,80	0,02	0	0,62
		20—40 cm	3,5	29,82	8,36	8,77			
		40—60 cm	1,0	29,32	8,40	8,79			

geführt. Die Reben waren in diesem Jahr nicht mit Arsenspritzmitteln behandelt worden. Der Boden, der noch nie rigolt war, enthielt die relativ geringen Mengen von 0,5—2,2 mg Arsen auf 100 g Trockenboden gerechnet. In den Pflanzenteilen konnte in keinem Fall Arsen nachgewiesen werden. Der Versuch: Tabelle 2 wurde an 8 Rebsorten: Kossuthrebe, Müller-Thurgau, Neuburger, Räuschling, Ruländer, Riesling, Silvaner und Königin der Weingärten vorgenommen. Bei diesen Reben hatte im Frühjahr 1937 eine einmalige Spritzung vor der Blüte mit Nosprasen stattgefunden. Der Boden war in verschiedenen Jahren rigolt worden, was deutlich im Arsengehalt in den verschiedenen Schichttiefen zum Ausdruck kommt. War das Rigolen vor längerer Zeit erfolgt, so fiel der Gehalt nach der Tiefe zu; war erst vor einigen Jahren rigolt worden, so erhöhte sich der Arsengehalt mit zunehmender Tiefe. Die Arsenwerte lagen zwischen 0,5 und 5,2 mg Arsen in 100 g Trockenboden. In der Krume dieses Bodens hatte sich somit das Arsen infolge des Spritzens angereichert.

Da die Reben im Frühjahr gespritzt worden waren, war anzunehmen, daß in den Pflanzenteilen Spuren von Arsen festzustellen sind. In den Kämmen und im Saft wurden mehr oder weniger geringe Mengen Arsen gefunden. Die Häute waren arsenfrei. Eine Erklärung hierüber gibt folgende Überlegung: Gespritzt wurde mit Nosprasen vor der Blüte. Vermutlich war das Arsen während der Entwicklung der Beeren durch Regen äußerlich von den Kämmen und Blättern auf die Häute gebracht worden. Beim Auspressen können durch die organischen Säuren des Saftes die etwa noch vorhandenen Spuren von Arsen von den Häuten gelöst worden und in den Saft gelangt sein.

Im Jahre 1938 wurden die Untersuchungen in diesen beiden

Tabelle 3.

Landwirtschaftsschule Augustenberg. Bodenart: Muschelkalk — Buntsandsteinverwitterung. Die Rebstöcke wurden bei der Arsenbespritzung mit Papier abgedeckt. Zeit der Lese: 10. Oktober 1938.

Traubensorte	Arsen im Boden. Boden nie rigolt. In 100 g Trockenboden: mg Arsen		$CaCO_3$ %	pH-Wert in KCl	pH-Wert in H_2O	Arsen in der Pflanze: im Saft mg As/l	mg As in 100 g Trockensubstanz: in den Häuten	in den Kämmen	in den Blättern
	Tiefe:								
Silvaner	0—20 cm	2,2	10,80	7,92	8,25	0	0	0,13	1,00
	20—40 cm	1,8	22,31	8,29	8,53				
	40—60 cm	0,5	20,90	8,20	8,70				
Elbling	0—20 cm	0,5	8,69	8,12	8,67	0	0	0,13	1,70
	20—40 cm	1,2	7,53	8,17	8,65				
	40—60 cm	0,5	9,55	8,26	8,70				
Räuschling	0—20 cm	0,5	22,20	8,06	8,40	0	0	0,13	2,30
	20—40 cm	1,8	20,35	8,09	8,51				
	40—60 cm	2,2	23,22	8,22	8,40				

Rebanlagen wiederholt, wobei allerdings bei der Rebenveredlungsanstalt andere Stücke gewählt wurden. Ferner wurden noch, worauf wir besonderen Wert legen, von Natur aus mit Arsen reich versehene, galmeihaltige Böden herangezogen. Es waren dies Rebstücke der Heil- und Pflegeanstalt Wiesloch und der Stadtgemeinde Wiesloch. Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Versuchs-

Tabelle 4.

Kaisersberg, Durlach (Rebenveredlungsanstalt). Bodenart: Muschelkalk. Die Rebstöcke wurden nicht mit arsenhaltigen Spritzmitteln behandelt. Zeit der Lese: 14. Oktober 1938.

Traubensorte	Arsen im Boden						Arsen in der Pflanze			
	Boden rigolt	in 100 g Trockenboden			pH-Wert in		im Saft mg As/l	mg As in 100 g Trockensubstanz		
			mg Arsen	$CaCO_3$ %	KCl	H_2O		in den Häuten	in den Kämmen	in den Blättern
		Tiefe:								
Silvaner	1905	0—20 cm	3,0	27,38	8,12	8,41	0	0	0,01	0,17
		20—40 cm	2,0	28,93	8,30	8,60				
		40—60 cm	1,4	28,38	8,30	8,62				
Müller-Thurgau	1931	0—20 cm	2,4	27,36	8,24	8,35	0	0	0,01	0,02
		20—40 cm	0,8	27,59	8,36	8,50				
		40—60 cm	0,8	26,09	8,37	8,52				

ergebnisse auf den Rebstücken der Landwirtschaftsschule Augustenberg und der Rebenveredlungsanstalt Karlsruhe-Durlach. Die Versuche erstreckten sich auf die Rebsorten: Silvaner, Elbling, Räuschling, Müller-Thurgau. Während der Arsenspritzung auf dem Rebstück der Landwirtschaftsschule Augustenberg wurden die Versuchsstöcke mit dickem Packpapier gut abgedeckt. Bei der Rebenveredlungsanstalt Karlsruhe-Durlach unterblieb auf den Terrassen, auf denen die Versuchsstöcke standen, das Spritzen mit arsenhaltigen Mitteln vollständig. Weder im Saft noch in den Beerenhäuten konnte Arsen nachgewiesen werden. Dagegen wurde in Kämmen und Blättern Arsen gefunden, das bei Regen, Sturm oder Trockenheit durch Verspritzungen oder Verwehungen vom Boden aus dorthin gelangt sein konnte und auch durch Abspülen wohl infolge der großen Haftfähigkeit nicht restlos entfernt worden war.

In Tabelle 5 sind die Untersuchungsbefunde von den Rebstücken in Wiesloch zusammengestellt. Von Traubensorten wurden Portugieser, Riesling und Gutedel gewählt. Die Reben der Rebstücke, in denen die Versuchsstöcke standen, wurden nicht mit arsenhaltigen Spritzmitteln behandelt. Zur Vorsorge blieben auch bei der Spritzung mit anderen Spritzmitteln der Versuchsstock und 8 darumstehende Stöcke unbespritzt.

Der Boden war als Versuchsobjekt besonders geeignet, da Arsengehalte bis 64 mg Arsen in 100 g Trockenboden ermittelt wurden. Auch hier wurde weder im Saft noch in den Häuten

Tabelle 5.

Heil- und Pflegeanstalt Wiesloch. Bodenart: Löß, Muschelkalk. Die Rebstöcke wurden nicht mit arsenhaltigen Spritzmitteln behandelt.
Zeit der Lese: 11. Oktober 1938.

Gewann	Traubensorte	Boden rigolt	Arsen im Boden: in 100 g Trockenboden: Tiefe	mg Arsen	% $CaCO_3$	pH-Wert in KCl	pH-Wert in H_2O	Arsen in der Pflanze: im Saft mg As/l	mg As in 100 g Trockensubstanz: in den Häuten	in den Kämmen	in den Blättern
Köpfle	Portugieser	1880	0—20 cm	40	7,23	7,26	8,41	0	0	0,13	0,50
			20—40 cm	40	13,24	7,43	8,48				
			40—60 cm	8	22,83	7,54	8,49				
Köpfle	Riesling	1880	0—20 cm	56	12,76	7,70	8,71	0	0	0,25	0,50
			20—40 cm	40	1,80	7,62	8,50				
			40—60 cm	8	9,98	7,79	8,50				
Wilhelmshöhe	Gutedel	1880	0—20 cm	32	9,73	7,68	8,60	0	0	0,25	0,50
			20—40 cm	24	1,55	7,70	8,58				
			40—60 cm	15	1,61	7,42	8,55				
Wilhelmshöhe	Portugieser	1880	0—20 cm	40	16,15	7,84	8,44	0	0	0,25	0,50
			20—40 cm	44	13,05	7,59	8,40				
			40—60 cm	64	7,14	7,32	8,48				
Stadtwingert	Riesling	1875	0—20 cm	12	9,96	7,89	8,67	0	0	0,13	0,17
			20—40 cm	4	7,35	7,38	7,46				
			40—60 cm	6	2,25	7,16	8,22				

Arsen festgestellt. Kämme und Blätter wiesen geringe Mengen von Arsen auf, dessen Vorkommen aus oben schon erwähnten Gründen möglich erscheint. Der Ausfall der Versuche „Wiesloch" zeigt deutlich, daß auch bei einem sehr hohen Gehalt an Arsen im Boden, der wohl kaum bei anderen Weinbergsböden vorkommen dürfte, eine Arsenspeicherung in den Beeren nicht ermittelt werden konnte. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß es sich um karbonatreiche Böden handelte. Ob die Verhältnisse bei an Kalziumkarbonat freien oder sauren Böden ähnlich liegen, konnte infolge Fehlens geeigneter Versuchsstücke nicht nachgeprüft werden.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß nach den bisher durchgeführten Untersuchungen eine Aufnahme von Arsen aus arsenhaltigem Boden durch die Rebpflanze nicht erwiesen ist. Keineswegs ist es wahrscheinlich, daß durch die Wurzeln auch bei einem hohen Gehalt an Arsen im Boden erhebliche Mengen in Traubenmoste oder -weine gelangen. Vielmehr sind, wenn überhaupt Arsen aufgenommen wird, die Mengen so gering, daß sie sicherlich nicht gesundheitsschädlich wirken.

Schrifttum.

1. Lockemann: Z. Unters. Lebensmittet, **72**, 1936, 224.

Beitrag zur Bestimmung kleiner und kleinster Bormengen [1]).

Von **O. Unverdorben** und **R. Fischer** (Berichterstatter).

Mitteilung (95) der Anhaltischen Versuchsstation Bernburg, Staatlichen Landwirtschaftlichen Forschungs- und Untersuchungsanstalt [2]).

(Leiter: Dr. Lüdecke.)

Eingegangen: 2. Dezember 1938.

Die Tatsache, daß es gelingt, manche Erkrankungen der Pflanzen, wie die Herz- und Trockenfäule der Zuckerrüben, unter gewissen Bedingungen durch Zusatz von Bor zu heilen, veranlaßte die Chemiker, sich eingehender mit den Analysenmethoden des Bors zu beschäftigen, um die Wechselwirkungen dieses Elementes zwischen Boden und Pflanze studieren zu können. Dabei stellte es sich heraus, daß die herkömmlichen Bestimmungsmethoden nicht genügten, um auch kleinste Bormengen in Böden und Pflanzenteilen restlos zu erfassen.

Während die Frage der Borbestimmung in Pflanzenteilen heute als befriedigend gelöst angesehen werden kann, bereitet die Gesamtbestimmung des Bors in Böden erhebliche Schwierigkeiten, da bei dem oft außerordentlich geringen Borgehalt größere Einwagen notwendig werden, bei deren Aufarbeitung man immer wieder auf Hindernisse stößt. Ganz abgesehen davon ist das Borproblem aber nicht durch eine Gesamtborbestimmung im Boden allein gelöst, es interessiert vielmehr neben dem gesamten verfügbaren Bor vor allem das für die Pflanzen aufnehmbare. Die Frage des für die Pflanze aufnehmbaren Bors kann aber erst dann überzeugend gelöst werden, möglicherweise durch eine für dieses Problem zugeschnittene Keimpflanzen-Methode nach Neubauer, wenn zuverlässige Methoden gefunden sind, um Bor in anorganischen Substanzen und besonders in Böden einwandfrei mengenmäßig zu ermitteln.

Im Augenblick jedoch können wir nur die Feststellung von J. Hudig und J. J. Lehr (1), bestätigen, daß eine zuverlässige und dabei einfache Boranalysenmethode für Böden noch fehlt.

Wir haben deshalb in den vergangenen Jahren eine große Anzahl von Boruntersuchungen nach den verschiedensten Methoden ausgeführt und dabei Gelegenheit gehabt, dieselben auf ihre Brauchbarkeit hin zu prüfen. Hierbei mußten wir feststellen, daß eine große Anzahl von Methoden zunächst für die Lösung des Bormangelproblems vollkommen ausscheidet, da sie ausgesprochene Makrobestimmungen sind.

Zu diesen gehören die gravimetrischen Methoden von Th. Rosenbladt (2) und F. A. Gooch (3), sowie die verbesserte

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/10a: „Allgemeine Arbeitsmethoden". Federführender: Dr. Herrmann.

[2]) Die Arbeit wurde unter der Leitung von G. Wimmer begonnen.

Methode von F. A. Gooch und L. C. Jones (4). Auch das Verfahren von C. Thaddeeff (5), bei dem nach einer vorherigen Abtrennung des Bors durch Veresterung mit Alkohol das überdestillierte Bor gravimetrisch als Kaliumborfluorid bestimmt wird, ist für die Ermittelung kleinster Bormengen nicht brauchbar.

Es bleiben von den vorgeschlagenen Methoden nun noch die volumetrischen, kolorimetrischen, spektrographischen und polarimetrischen zur Prüfung.

Die spektrographische Methode (6) gestattet es zwar, außerordentlich kleine Bormengen zu erkennen, reicht aber in ihrer quantitativen Genauigkeit nicht an die heran, die man von chemischen Methoden zu fordern gewohnt ist.

Die polarimetrische Methode (7) wurde von uns nicht geprüft. Sie beruht auf der Beobachtung, daß das Drehungsvermögen einer wässerigen Weinsäurelösung durch einen steigenden Zusatz von Borsäure erheblich vergrößert wird. Aus der Drehungsänderung kann dann der Gehalt an Borsäure ermittelt werden. Es erscheint uns aber außerordentlich fraglich zu sein, ob die kleinen Bormengen, um die es sich auch nach notwendiger vorheriger Anreicherung über den Borsäuremethylester bei den für die Bearbeitung des Bormangelproblems üblichen Untersuchungen handelt, überhaupt ausreichen, um solche Drehungsänderungen zu erhalten, daß klare und eindeutige Schlüsse aus ihnen gezogen werden können.

Es bleiben nun noch die volumetrischen und kolorimetrischen Methoden zur Besprechung übrig. Von den kolorimetrischen Methoden haben die von Bertrand und Agulhon (8), die die Farbreaktion von Curcuma verwenden, sowie die von Gottschall (9), der eine 0,01 %ige Chinalizarinlösung in konzentrierter Schwefelsäure zur Bestimmung des Bors benutzt, eine gewisse Bedeutung erlangt. Daneben wurden Kongorot (10), Purpurin (11), Karminrot (12) und Chromotrop 2B (13) zur kolorimetrischen Borbestimmung herangezogen. Nach unseren Beobachtungen kommt den kolorimetrischen Methoden nur eine orientierende Bedeutung zu. Die Farbunterschiede sind bei den meisten, wie auch bereits Bollmann (14) feststellen konnte, außerordentlich subjektiv und außerdem schlecht reproduzierbar.

Zum Schluß wären nur noch die volumetrischen Methoden zu besprechen. Sie finden sich in einer nach unserer Meinung recht guten Arbeit von E. Schulek und G. Vastagh (15) zusammengestellt, so daß wir auf diese genannte Arbeit verweisen können.

Ferner wurden volumetrische Methoden zur Borbestimmung von W. H. Chapin (16), P. Jannasch und F. Noll (17), M. Hönig und G. Spitz (18), P. Nicolardot und J. Boudet (19), E. C. Sullivan und W. C. Taylor (20), sowie W. Strecker und E. Kannappel (21) veröffentlicht. Zu diesen Schrifttumsangaben kommt noch eine von R. Strohecker referierte Arbeit von L. W. Willcox über die Bestimmung von Bor in naturlichen Wässern und Pflanzenmaterialien (22) und die Dissertation von R. Gottschall.

Auf Grund vieler von uns durchgeführter Boranalysen in Böden, Vegetationssanden, Solvaykalken, Kalksteinmehlen und Pflanzenmaterialien, die noch durch weitere Untersuchungen in Torf, Pflanzenmaterialien und Düngemitteln in den kommenden Monaten ergänzt werden sollen, und über die wir in einer späteren

Veröffentlichung berichten werden, müssen wir feststellen, daß die volumetrische Borbestimmung nach vorangegangener Anreicherung des Bors als Borsäuremethylester die bisher ohne Zweifel genaueste Methode darstellt. Sie läßt sich auch bei einiger Geübtheit gut als Mikro- bzw. Halbmikromethode ausbauen, so daß man das angereicherte Bor dann mit 0,1 normaler, 0,01 normaler, ja sogar mit 0,0046 normaler Natronlauge, wobei 1 ccm 0,05 mg Bor entspricht, titrieren kann.

Um eine titrierbare Boranreicherung zu bekommen, haben wir stets die Borsäuremethylesterdestillation aus schwefelsaurer Lösung angewendet. Diese Destillation hat nicht nur die Aufgabe, das Bor im Destillat anzureichern, sondern vielmehr noch die, das Bor von störenden anderen Bestandteilen zu trennen. Als störende Bestandteile sind vornehmlich Silikate, Karbonate, Sulfite, Phosphate, und Salze organischer Säuren zu nennen. Die Abtrennung von Silikaten und Phosphaten wird durch die Destillation mit Methylalkohol-Schwefelsäure erreicht. Da wir zur Destillation konzentrierte Schwefelsäure verwenden, müssen wir alle Substanzen im Destillationskolben tunlichst vermeiden, die reduzierend auf konzentrierte Schwefelsäure wirken. Aus diesem Grunde destillieren wir nicht wie Willcox getrocknete Pflanzenmaterialien direkt, sondern nach vorheriger Veraschung unter Zusatz von wenigen ccm alkoholischer Kalilauge.

Wir destillierten, um einwandfreie Werte zu erhalten, stets in Quarzgefäßen. Eine weitere unerläßliche Notwendigkeit beim Arbeiten unter Benützung der volumetrischen Methode ist das Verwenden von nur absolut kohlensäurefreier Natronlauge, sowie das Titrieren unter vollkommener Ausschaltung auch der geringsten Spuren von Kohlensäure. Dies ist besonders notwendig beim Titrieren mit 0,01 normaler bzw. 0,003 normaler Natronlauge, da ja schon lange bekannt ist, daß nicht nur Borsäure von mehrwertigen Alkoholen zu einer komplexen starken Säure aktiviert werden kann, sondern ebenfalls Kohlensäure, Kieselsäure, Phosphorsäure und andere schwache Säuren, vornehmlich schwache organische Säuren. Wir glauben das Problem der Kohlensäure-Ausschaltung in unserer Arbeitsmethode gelöst zu haben und wollen nun die Arbeitsweise und die dabei verwendeten Apparaturen besprechen, wie wir sie im Laufe der Boruntersuchungen für unsere Arbeiten herausbilden konnten.

Herstellung von absolut kohlensäurefreier Natronlauge.

Da ja bekanntlich „chemisch reine“ Natronlauge von Merck immer 1—2% Natriumkarbonat enthält, was im Charakter des Ätznatrons bedingt ist, kann man daraus hergestellte Normallösungen nicht ohne besondere Vorbehandlung verwenden. Wir benutzten für unsere Bestimmungen eine ca. 0,1 normale, eine ca. 0,01 normale und eine ca. 0,003 normale Natronlauge. Bei ihrer Herstellung arbeiteten wir folgendermaßen:

In eine 5-Liter-Flasche F 1 werden rasch 12—13 g Ätznatron (Merck), etwa 0,6 g Ätzbaryt pro analysi (Merck) und 3 Liter frisch ausgekochtes Wasser gebracht. Die Flasche F 1 wird durch einen doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, in dem ein Natronkalkrohr 2 mit Glashahnverschluß 3 und ein abwärts gebogenes Glasrohr mit anschließendem Glas-

hahn 4 dicht eingeführt sind. Nach Füllen der Flasche F 1 werden die Hähne 3 und 4 abgesperrt und die Flasche wiederholt umgeschüttelt. Hierauf läßt man bis zur völligen Klärung stehen. Ist diese erfolgt, so schließt man eine zweite Flasche F 2 von 3 Liter Inhalt an den Hahn 4 an. Die Flasche besitzt einen Gummistopfenverschluß, der drei Bohrungen enthält. In dem einen Loch steckt ein Glasrohr, das durch Druckschlauch mit dem Hahn 4 verbunden ist. In einer weiteren Bohrung befindet sich ein Natronkalkrohr, das ebenfalls durch einen Absperrhahn 5 verschlossen ist. Durch die dritte Bohrung führt ein Glasrohr, das durch Druckschlauch mit einer Vakuumpumpe in Verbindung steht. Nun evakuiert man die Flasche 2 unter Öffnung des Hahnes 5, wobei der Hahn 4 verschlossen gehalten werden muß. Durch dieses Absaugen wird die Luft in der Flasche 2 immer mehr von Kohlensäure befreit, da die durch den Hahn 5 eintretende Luft durch das Natronkalkrohr kohlensäurefrei gemacht wird Nach etwa $^1/_2$stündigem Absaugen wird der Hahn 5 geschlossen und allmahlich der Hahn 4 geöffnet, damit die n/10 Natronlauge ganz langsam von der Flasche 1 in die Flasche 2 überfließen kann. Es ist dabei darauf zu achten, daß das in der Flasche 1 befindliche Absaugrohr nicht bis auf den Boden reicht, und daß der Niederschlag auf keinen Fall aufgewirbelt wird. Ist die klare Natronlauge in die Flasche 2 übergehebert, so wird der zur Vakuumpumpe fuhrende Hahn 6 geschlossen, ebenso der Hahn 4. Durch den Hahn 5 stellt man den Druckausgleich in der Flasche 2 her; hierauf wird der Verschlußstopfen mit einem zweiten, der nur mit einem Natronkalkrohr versehen ist, rasch gewechselt. Die Flasche 2 enthält jetzt eine absolut kohlensäurefreie 0,1 normale Natronlauge.

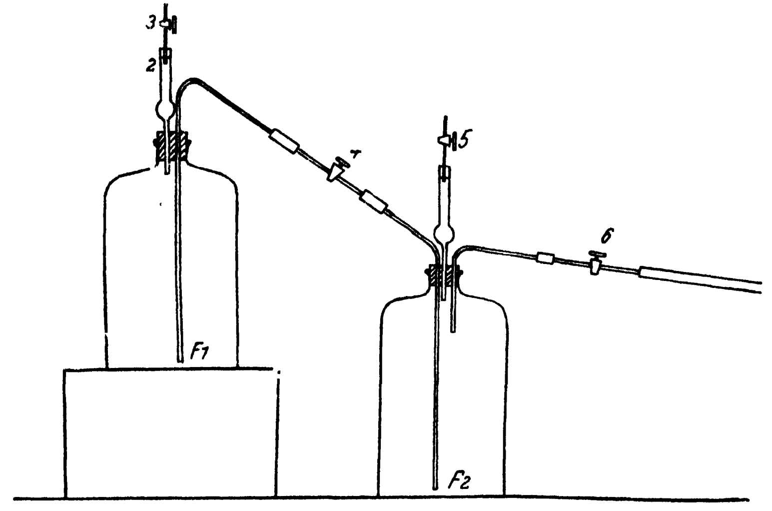


Abb. 1
Skizze zur Apparatur für die Herstellung von kohlensäurefreier Natronlauge.

Herstellung von 0,01 normaler kohlensäurefreier Natronlauge.

Die Flasche 1 wird nun gut gespült und getrocknet. Um eine 0,01 normale Natronlauge zu bereiten, kocht man zunächst ca. 4 Liter destilliertes Wasser etwa eine Viertelstunde aus und füllt dasselbe unter Zusatz von etwa 0,1 g Ätzbaryt pro analysi noch heiß in die Flasche 1. Man verschließt mit dem Aufsatz I, sperrt den Hahn 4 ab, läßt jedoch den Hahn 3 geöffnet. Nach Umschütteln bleibt die Lösung zur Klärung über Nacht stehen. An den Hahn 4 schließt man nun eine saubere Flasche 3 von etwa 5 Liter Inhalt an, die man nach Aufsetzen des Aufsatzes II analog von der Luftkohlensäure befreit wie vorher die Flasche 2 bei der Herstellnng von 0,1 normaler

kohlensäurefreier Natronlauge. Ist dies erfolgt, so gibt man mit einer 200 ccm Pipette unter raschem, geschickten Öffnen und Schließen zweimal je 200 ccm der kohlensäurefreien ca. 0,1 normalen Natronlauge in die Flasche 3. Hierauf werden in gleicher Weise wie vorher aus der Flasche 1 die 4 Liter ausgekochtes destilliertes Wasser in die Flasche 3 gesaugt. Nach Abnehmen des Flaschenaufsatzes II wird auch diese Flasche durch einen Gummistopfen mit eingesetztem Natronkalkrohr sofort verschlossen. Der Inhalt ist 0,01 normale kohlensäurefreie Natronlauge.

Herstellung von 0,003 normaler kohlensäurefreier Natronlauge.

Um noch eine 0,003 normale kohlensäurefreie Natronlauge herzustellen, schaltet man die Flasche 3, in der sich 0,01 normale Natronlauge befindet als Flasche 1. Als Flasche 2 nimmt man eine saubere und der Flasche 2 entsprechende 3-Liter-Flasche 4, an der bei 1 Liter Inhalt eine Marke außen angebracht ist. Unter den besprochenen Vorsichtsmaßregeln wird jetzt 0,01 normale kohlensäurefreie Natronlauge aus der Flasche 3 in die Flasche 4 bis zur 1-Liter-Marke hinübergesaugt. Hierauf schließt man die Hähne 4 und 6. Inzwischen werden ca. 2,25 Liter destilliertes Wasser unter Zusatz von etwa 0,05 g Ätzbaryt pro analysi eine Viertelstunde lang ausgekocht und noch heiß in die Flasche 1 gefüllt. Nach Umschütteln und Verschließen des Hahnes 4 und unter Offenhalten des Hahnes 3 bleibt die Lösung über Nacht stehen. Dann saugt man den Inhalt der Flasche 1 in die Flasche 4, nimmt den Aufsatz II ab und verschließt sofort durch einen Gummistopfen mit einem Natronkalkrohr. Der Inhalt der Flasche ist kohlensaurefreie 0,003 normale Natronlauge.

Man setzt nun in die Natronlaugeflaschen vorher zusammengebaute Ablaufbüretten, deren Luftausgleich durch frisch beschickte Natronkalkröhren erfolgt.

Als Büretten für die 0,01 und 0,003 normale Natronlauge verwenden wir Mikrobüretten.

Unterschiede unserer Arbeitsweise gegenüber den bisher bekannten Methoden.

Wir haben nun, um eine wirklich 100%ige Ausschaltung von Kohlensäurefehlern bei der Titration zu erreichen, uns besondere Titrationskölbchen aus borfreiem Glas anfertigen lassen. Diese Kölbchen, die wir in einer Größe von 150 ccm und 250 ccm Inhalt vorrätig haben, besitzen ein direkt unter dem Hals seitlich herausgeführtes und nach unten gebogenes kurzes Ansatzrohr. Verschließt man sowohl den Kolbenhals als auch das Ansatzrohr mit je einem Natronkalkrohr, so wird nach vorherigem Austreiben der Kohlensäure ein erneuter Zutritt von Luftkohlensäure zum Inhalt des Kölbchens mit Sicherheit verhindert. Bringt man ferner an die Bürettenauslaufrohre einen Gummistopfen von der gleichen Größe an, wie er dem Hals der Titrierkölbchen entspricht, so kann nach raschem Abnehmen des Natronkalkrohraufsatzes und Anschließen des Titrierkölbchens an den Gummistopfen der Bürette, nunmehr unter völligem Ausschluß von Luftkohlensäure die vorher kohlensäurefrei gekochte Untersuchungsprobe titriert werden. Hierdurch fällt das von Schulek und Vastagh (15) empfohlene anfängliche Titrieren in der Siedehitze bis nahezu an den Endpunkt, und das darauf folgende Abkühlen und Fertigtitrieren der kalten Titrierflüssigkeit weg. Die Titrierflüssigkeit ist nach unserer Methode fast nie direkt mit der atmosphärischen Kohlensäure in Berührung, und somit ist eine wirk-

liche Ausschaltung des Kohlensäurefehlers gewährleistet. Durch diese Verbesserung der Titrationsmethode fällt auch ein zweites Aufkochen nach erfolgter Austitration weg, wie es Gottschall (23) vorschlägt.

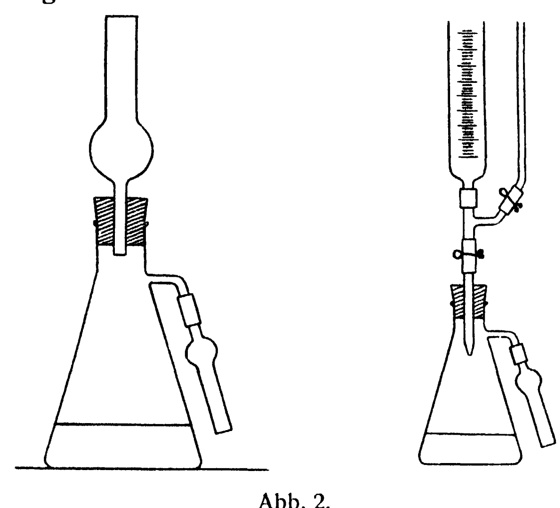


Abb. 2.
Skizze der Titrierkölbchen.
a) verschlossen b) an der Titrierbürette.

Nachdem wir den Kohlensäurefehler bei der Titration ausgeschaltet hatten, waren wir bestrebt, eine weitere Fehlermöglichkeit zu beseitigen, die sich besonders bei der Titration kleinster Bormengen bemerkbar machen muß. Es ist dies das Arbeiten mit 2 Indikatoren. Während Willcox (22), Schulek und Vastagh (15) und auch Gottschall (23) mit Sofnolrot, Methylrot oder Methylorange vor der Titration auf den Neutralpunkt einstellen und hierauf nach Zusatz von Phenolphthalein oder Naphtholphthalein und Mannit oder einem anderen mehrwertigen Alkohol auf den Umschlag dieses neuerdings zugesetzten Indikators austitrieren, verwenden wir nur einen Indikator, und zwar Phenolphthalein. Auf diese Weise schalten wir einen Fehler aus, der durch die Tatsache der verschiedenen Umschlagsgebiete von Methylorange einerseits und Phenolphthalein andererseits folgerichtig entstehen muß. Wir arbeiten dabei so, daß wir vor dem Wegkochen der Kohlensäure den Kolbeninhalt mit 4 Tropfen 2%iger Phenolphthaleinlösung versetzen und nach tropfenweisem Zusatz von 10%iger Salzsäure die Kohlensäure wegkochen. Nach dem Verschließen der Titrierkolben mit Natronkalkröhren kühlen wir ab und titrieren gegen kohlensäurefreie 0,1 normale Natronlauge unter dem oben erwähnten Natronkalkverschluß auf gerade schwach rosa (gerade Umschlag). Nun setzen wir die nötige Menge Mannitlösung zu, die sich nach dem Volumen der zu titrierenden Flüssigkeit und der eventuell zu erwartenden Borkonzentration richtet. Die Mannit-

lösung wurde in einer Konzentration von 10%, hergestellt, in einem 250 ccm Titrierkolben etwa 5 Minuten gekocht und unter Natronkalkrohrverschluß abgekühlt. Hierauf setzten wir auf 200 ccm Mannitlösung immer 6 Tropfen 2%ige Phenolphthaleinlösung zu und titrierten die stets schwach sauer reagierende Lösung durch tropfenweise Zugabe von kohlensäurefreier 0,1 normaler Natronlauge unter Natronkalkrohrverschluß auf schwach rosa (gerade Umschlag). Nach dem Abnehmen der Titrierkölbchen von der Bürette, das schnell und geschickt geschehen muß, verschließen wir wiederum sofort mit dem Natronkalkrohraufsatz. Wir verarbeiten immer eine Serie von 4—6 Kölbchen, deren Inhalt wir auf den absolut gleichen Rosapunkt einstellen. Dies geschieht durch eventuelle nachträgliche tropfenweise Zugabe von 0,01 normaler kohlensäurefreier Natronlauge, jedoch immer unter Natronkalkrohrverschluß. Sind die Rosatöne gleich, dann setzen wir auf etwa 25 ccm schwach rosa Titrationslösung rasch 25 ccm der gleich schwach rosa eingestellten Mannitlösung zu und schließen den Kolben sofort an die Mikrobürette der gegen chemisch reine Borsäure (Merck) unter den gleichen Titrationsvorsichtsmaßregeln eingestellten kohlensäurefreien 0,01 normalen Natronlauge an. Tritt hierbei Entfärbung bei der Vermischung der beiden rosa gefärbten Lösungen ein, so geschieht dies durch sich bildende Mannitborsäure. Es ist diese Entfärbung demnach der sicherste qualitative Nachweis von kleinsten Bormengen, vorausgesetzt, daß Silikate, Phosphate, Sulfite und auch Salze organischer Säuren in der Titrationslösung nicht vorhanden sind. Dies ist aber durch die Abtrennung als Borsäuremethylester und die folgende Aufarbeitung sicher gegeben. Die entfärbte Lösung titrieren wir nun mit der kohlensäurefreien 0,01 normalen Natronlauge unter Vergleichen mit den anderen Kölbchen auf den gleichen Rosapunkt zurück. Die Differenz der beiden Rosapunkte entspricht der Borsäure. Hierdurch ist ein sicherer Weg gegeben, um Unstimmigkeiten auszuschalten, die bei Verwendung von zwei verschiedenen Indikatoren, durch deren verschiedenen Umschlagspunkt bedingt, auftreten müssen. Beträgt der Verbrauch an 0,01 normaler Natronlauge unter 1,0 ccm, so wird eine Paralleltitration mit kohlensäurefreier, gegen reine Borsäure analog eingestellter, 0,003 normaler Natronlauge vorgenommen.

Ein weiterer Unterschied in unserer Arbeitsweise gegenüber den bisher empfohlenen Methoden ist der, daß wir zum Destillat beim Abdestillieren des Bors als Borsäuremethylester als Indikator nicht Methylorange oder Methylrot, sondern Phenolphthalein zusetzen. Phenolphthalein schlägt bereits im schwach alkalischen Bereich in farblos um, die anderen genannten Indikatoren im sauren Gebiet. Da aber im sauren Gebiet Verluste an Bor auftreten können, so muß das p_H, wenn der Borsäuremethylester auch wirklich vollkommen verseift werden soll, immer alkalisch sein. Phenolphthalein hat auch noch den Vorteil, daß es ohne Rückstand in der Schmelze bei der Aufarbeitung des Destillates verbrennt.

Ein letzter, dabei nicht der unwesentlichste, Unterschied gegenüber den bisher bekannten Methoden ist der, daß wir zur Borbestimmung bedeutend größere Einwaagen verwenden. So haben wir Analysen durchgeführt, denen wir 25 bis 50 g Solvayabfallton, 25 bis 50 g Kalksteinmehl, 25 bis 50 g Boden, 50 bis 100 g Vegetationssand, die Asche von 25 bis 50 g getrocknetem und gemahlenem Pflanzenmaterial usw. zu Grunde gelegt haben. Wir haben uns zu Einwaagen in dieser Höhe entschlossen, weil wir erkennen mußten, daß in den meisten Materialien nur Spuren von Bor enthalten sind, die sich auch mit 0,003 normaler Natronlauge nur annähernd genau bestimmen lassen, wenn man Einwaagen von nur 2 bis etwa 10 g anwendet. Wir glauben, daß es völlig ungenügend ist, zu Borbestimmungen in Ernteprodukten nur 5 g Trockenmasse und zu solchen in Böden oder Vegetationssanden nur 0,5 bis 2,0 g als Einwaage zu verarbeiten. Bei Borbestimmungen in Erden, Sanden und Gesteinsmehlen sind Einwaagen von 1 oder 2 g schon deshalb unbrauchbar, weil man so bei diesen inhomogenen Stoffen niemals einen Wert erhalten wird, den man bei der Auswertung heranziehen kann. So tragen diese kleinen Einwaagen zwei Fehlermöglichkeiten in sich, nämlich erstens verlieren die Werte durch ein zu starkes Übergewicht des Analysenfehlers an Wahrscheinlichkeit und zweitens macht bereits geringe Uneinheitlichkeit im Untersuchungsmaterial das Ergebnis vollkommen wertlos.

Zu der gleichen Erkenntnis war auch Stettbacher (13) gekommen, der ebenfalls zu Borbestimmungen in Ackerböden 50—100 g Einwaage anwendet.

Daß man einen Teil der bisher veröffentlichten Borgehaltszahlen nur mit größter Vorsicht aufnehmen darf, stellten auch J. Hudig und J. J. Lehr (1) fest:

„Da es schwierig ist, die sehr kleinen Bormengen, um die es sich hier handelt, genau zu bestimmen, müssen die im Laufe der Zeit hierüber veröffentlichten Zahlenwerte teilweise mit Vorbehalt aufgenommen werden."

Wenn man den Bestimmungsmethoden aber das Moment der Ungewißheit und Unsicherheit nehmen will, dann muß man folgerichtig zu größeren Einwaagen übergehen. Bei größeren Einwaagen aber muß man schließlich größere Apparaturen verwenden. Wir empfehlen auf Grund unserer durch viele durchgeführte Analysen gewonnene Erfahrung als Destillationskolben 500 ccm bzw. 250 ccm Quarzkolben von Kjeldahlkolbenform. Als Aufsatz nehmen wir einen Reitmeir-Aufsatz aus Quarz, der mit einem Gummistopfen in einen absteigenden Kühler führt, als Zulauf für den Methylalkohol, bzw. das Methylalkohol-Schwefelsäuregemisch Trichter ebenfalls aus Quarz. Wir destillieren, da wir größere Einwaagen verwenden, in einem Sandbad, das wir durch eine Asbestpappe mit Lochausschnitt für den Kolbenhals abdecken, damit das Kolbeninnere vor Zugluft geschützt ist. Bei Untersuchung von Erden und Sanden geben wir nach geeigneter Vorbereitung, über die wir in einer späteren Arbeit berichten wollen, 25—100 g in den Destillationskolben. Bei diesen Mengen tritt ein ernstliches Stoßen nur zuweilen bei reinem Sand ein.

Dies auch nur dann, wenn zuviel Flüssigkeit in den Kolben gelangt ist, während bei mehr breiiger Konsistenz des Kolbeninhaltes ein Stoßen nahezu vollkommen unterbleibt. Anders beim Destillieren von größeren Mengen Pflanzenasche. Um in diesem Falle ein gleichmäßiges, ruhiges Sieden zu erreichen, drücken wir durch den Kolbeninhalt mittels einer bis fast auf den Kolbenboden reichenden Quarzröhre einen langsamen, gleichmäßigen Luftstrom. Die Luft wird vor dem Eintritt in den Destillationskolben durch einen Natronkalkturm geleitet und anschließend durch eine Waschflasche mit konzentrierter Schwefelsäure gereinigt. Das Destillat fangen wir in einem 300-ccm-Erlenmeyer-Kolben aus borfreiem Glas durch Einleiten in 10 ccm n/1 Natronlauge auf, die mit wenigen Tropfen Phenolphthalein rot gefärbt sind.

Liegt Untersuchungsmaterial vor, das einen höheren Borgehalt besitzt, dann verwenden wir zur Abdestillation des Bors als Borsäuremethylester eine Apparatur, die der von Schulek und Vastagh (15) vorgeschlagenen nachgebildet ist. Wir haben uns diese aus durchsichtigem Quarzglas anfer-

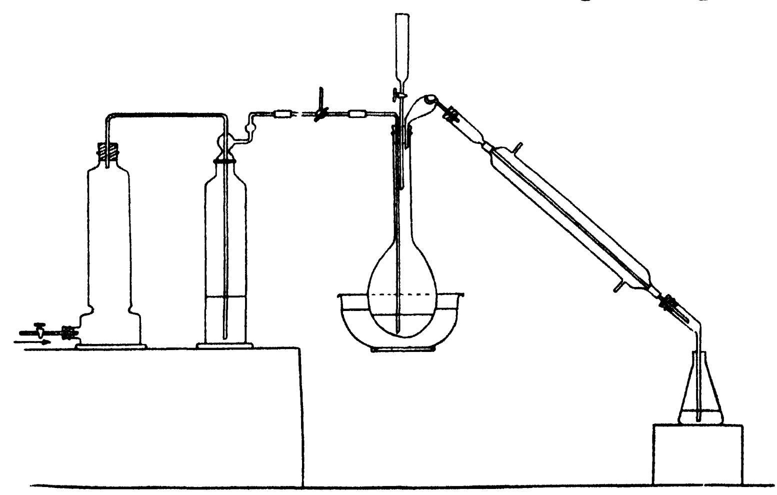


Abb. 3
Destillationsapparatur.

tigen lassen. Sie besitzt Quarzschliffe und eine durch Quarzschliff in den Destillationsaufsatz einfügbare, bis auf den Boden des Destillationskolbens führende Kapillare. Die Schliffe werden durch Anfeuchten mit konzentrierter Schwefelsäure abgedichtet. Durch die Kapillare drücken wir genau wie bei der oben besprochenen Apparatur gereinigte und getrocknete Luft, um ein Stoßen der Destillationsflüssigkeit zu vermeiden. Für besonders brauchbar halten wir diese Apparatur bei der Untersuchung von Pflanzenaschen.

Arbeitsweise bei der Borbestimmung.

1. Abtrennung des Bors durch Destillation.

Die in dem Destillationskolben quantitativ eingebrachte Substanz wird, wenn sie wie bei der Untersuchung von Pflanzenaschen mit destilliertem Wasser eingespült werden mußte, zu-

nächst nahezu zur Trockne gedampft. (Erden, Sande und ähnliches bringen wir nach Vortrocknung wenigstens lufttrocken in den Destillationskolben.) Nach Abkühlung geben wir ein kaltes Gemisch von 35 ccm Methylalkohol und 5 ccm konzentrierter Schwefelsäure durch den Zulauftrichter zum Untersuchungsmaterial. Nach Umschwenken und kurzem Stehen, um eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Kolbeninhalts zu erreichen, wird die Vorlage, ein 300 ccm fassender Erlenmeyer-Kolben aus borfreiem Glas, soweit gehoben, daß der Kühlervorstoß in die in der Vorlage enthaltene Natronlauge eintaucht. Nun setzen wir zur Vorlage zwei Tropfen 2%ige Phenolphthaleinlösung und beginnen mit der Destillation. Wir destillieren, bis Methyläther auftritt, den wir durch reichliche Blasenbildung in der Vorlage erkennen können, und bis sich im Destillationskolben schwere, weiße Schwefelsäuredämpfe bilden. Hierauf setzen wir die Vorlage tiefer und rücken nach Unterbrechung der Destillation das Sandbad vom Kolben ab.

Nach erfolgter Abkühlung geben wir nochmals ein kaltes Gemisch aus 35 ccm Methylalkohol und 5 ccm konzentrierter Schwefelsäure zum Inhalt des Destillationskolbens und schwenken gut um. Es muß unbedingt darauf geachtet werden, daß sich die Masse im Kolben mit dem Zusatz gut und gleichmäßig vermischt. Ist dies erfolgt, so wird genau wie vorher bis zum Auftreten der weißen Schwefelsäuredämpfe destilliert und hierauf die Destillation abermals unterbrochen.

Nach dem Abkühlen setzen wir nochmals 40 ccm Methylalkohol zum Kolbeninhalt zu, schwenken um und destillieren nunmehr zu Ende. Während der Destillation ist peinlich darauf zu achten, daß sich die Vorlage nicht entfärbt. Sollte dies eintreten, so setzt man neuerlich 10 ccm n 1 Natronlauge zur Vorlage zu.

Nach beendeter Destillation wird der Kühler und der Vorstoß mit wenig destilliertem Wasser und anschließend mit Methylalkohol, um möglichst wenig Wasser in die Vorlage zu bekommen, ausgespült und der Methylalkohol durch Destillation auf dem Wasserbade aus der Vorlage abdestilliert. Der Rückstand in der Vorlage stellt nunmehr eine rotgefärbte alkalische Flüssigkeit dar, in der das Bor des eingewogenen Untersuchungsmaterials als Borax angereichert ist.

Durch diese Abtrennung des Bors als Borsäuremethylester haben wir dieses im Destillat angereichert und gleichzeitig von den störenden Silikaten und Phosphaten abgetrennt. Im Destillat befinden sich noch als störende Begleitstoffe die bei der Destillation mit übergegangenen oder durch die Methylalkohol-Schwefelsäure-Destillation aus dem Methylalkohol und der Schwefelsäure entstandenen Sulfite, Karbonate und eventuell Formiate und Azetate.

2. Zerstörung der Sulfite, Formiate und Azetate.

Den wässrigen Rückstand des Destillates filtrieren wir durch ein kleineres Filterchen in eine etwa 120 ccm fassende Platinschale und spülen die Destillationsvorlage und das Filter mit kleinen Portionen heißen Wassers quantitativ aus. (Prüfung: 1 Tropfen Phenolphthalein auf das Filter gebracht darf dieses nicht mehr röten!). Zu dem rotgefärbten Schaleninhalt geben wir nun zum Zwecke der Oxydation 1—2 ccm Perhydrol. Dasselbe muß aber vorher unbedingt auf Phosphorsäure- und Borsäurefreiheit geprüft werden. Die Platinschale, deren Inhalt durch die Oxydationswirkung entfärbt ist, wird nun mit einem Uhrglas bedeckt und auf ein schwach dampfendes, noch nicht kochendes Wasserbad gestellt. Hierdurch soll durch einen langsamen Zerfall des Perhydrols die Oxydation des Sulfites bewirkt werden. Wenn keine Bläschenentwicklung mehr wahrnehmbar ist, wird das Uhrglas abgenommen, quantitativ abgespritzt und nunmehr der Schaleninhalt durch volles Aufdrehen der Gasflamme zur Trockne eingedampft. Ist dies erfolgt, so stellen wir die Platinschalen noch 2 Stunden in einen Trockenschrank bei 120° Celsius, wobei wir sie, um ein Wegspritzen zu vermeiden, mit einem Uhrglas bedecken.

Hierauf werden die Schalen mit kreisender Flamme direkt erhitzt. Dies hat anfänglich sehr vorsichtig zu geschehen, später mit allmählich vergrößerter Flamme. Schließlich wird der Schaleninhalt durch volle, rauschende Tekluflamme zum Schmelzen gebracht und solange erhitzt, bis eine völlig homogene, klare Schmelze entstanden ist. Wir halten ihn noch etwa 2 Minuten im Schmelzen.

Nunmehr sind Sulfite und eventuelle Salze der organischen Säuren restlos zerstört, ebenso zugesetztes Phenolphthalein. Die Schmelze enthält nur noch Natriumkarbonat neben etwas freiem Ätznatron und dem als Natriummetaborat gebundenen Bor. Es bleibt somit nur Karbonat als störender Begleitstoff übrig.

3. Austreibung der Kohlensäure.

Die Schmelze wird mit wenig heißem Wasser gelöst und durch ein kleines Filterchen in einen 150 ccm fassenden Titrierkolben aus borfreiem Glas gespült. Anschließend wird in kleinen Portionen die Platinschale und das Filter quantitativ mit heißem Wasser ausgespült. Zum Kolbeninhalt geben wir immer gleichmäßig 4 Tropfen 2%ige neutrale Phenolphthaleinlösung. Hierauf setzen wir tropfenweise 10%ige Salzsäure bis zum Verschwinden der roten Farbe zu und erhitzen unter öfterem Umschwenken zum Sieden. Tritt nach Auskochen wieder Rotfärbung ein, so geben wir nochmals tropfenweise Salzsäure zu und erhitzen wiederum. Die tropfenweise Salzsäurezugabe hat solange zu erfolgen, bis keine Rotfärbung wieder eintritt. Ist dieser Zeitpunkt erreicht, so setzt man nochmals 3 Tropfen 10%ige Salzsäure zu und schließt an das seitliche Ansatzrohr des Titrierkolbens ein Natronkalkröhrchen an. Nun kocht man nochmals 3 Minuten unter mehr-

maligem Umschwenken, nimmt das Kölbchen von der Flamme, schwenkt zum Zerstören von Siedeverzügen nochmals um und verschließt das Kölbchen sofort durch einen Gummistopfen mit Natronkalkrohr. Hierauf läßt man das Kölbchen erkalten.

Somit ist auch die Kohlensäure ausgetrieben und demnach sind alle störenden Begleitstoffe entfernt. In der Lösung im Titrierkölbchen befinden sich nunmehr als Salze gelöst nur noch Natriumchlorid, etwas Natriumsulfat und das isolierte Bor als Borax, neben wenig überschüssiger, freier Salzsäure.

4. Titration der isolierten Borsäure.

Um die Borsäure fehlerfrei durch Titration bestimmen zu können, muß man ein Hinzutreten von Kohlensäure völlig verhindern. Wir haben dies erreicht durch Verwendung unserer vorgeschlagenen Titrierkölbchen, also durch Titration unter Natronkalkrohrverschluß.

Bevor wir titrieren, bereiten wir uns zunächst eine 10%ige Mannitlösung, zu der wir 6 Tropfen 2%ige Phenolphthaleinlösung geben. Wir verwenden dazu einen 300 ccm Titrierkolben aus borfreiem Glas, bringen die Lösung zum Sieden und kochen 5 Minuten. Dann wird unter Natronkalkrohrverschluß abgekühlt. Ist dies erreicht, schließt man den Kolben an die Bürette der kohlensäurefreien 0,1 normalen Natronlauge an und titriert tropfenweise auf schwach rosa. Nun setzt man auf den Kolben, der die Mannitlösung enthält, ein Natronkalkrohr auf.

In der gleichen Weise wird die nach Wegkochen der Kohlensäure schwach saure Untersuchungslösung neutralisiert. Zu diesem Zweck schließt man die Titrationskölbchen mit der auf Bor zu prüfenden Lösung an die gleiche Bürette an und stellt ebenfalls auf den gleichen schwach rosa Farbton ein. Hierauf werden zu der zu titrierenden Lösung rasch 25 ccm der gleichfalls schwach rosa gefärbten Mannitlösung gegeben und das Kölbchen sofort mit der die 0,01 normale Natronlauge enthaltenden Bürette verbunden. Ist infolge des Mannitzusatzes eine Entfärbung eingetreten, so ist durch dies Sauerwerden zweier neutraler, bzw. schwach alkalischer Flüssigkeiten die Gegenwart von Bor eindeutig erwiesen. Nach Umschwenken titriert man nun sofort unter Natronkalkrohrverschluß wieder auf die gleiche schwach rosa Färbung. Aus den verbrauchten ccm an 0,01 normaler Natronlauge berechnet sich der Borgehalt im Titrierkölbchen, also in der Einwaage. Es ist notwendig, immer auf den gleichen Rosapunkt vor und nach der Titration einzustellen, was bei einiger Übung wohl auch leicht gelingt.

Die bei Anwendung der Titrationsmethode etwa auftretenden Störungen.

Um alle bei Anwendung der Titrationsmethode unter Umständen als Störungen auftretenden Möglichkeiten zu studieren, wurde in einigen Versuchen der Einfluß der Kochdauer bei

neutralen oder schwach sauren karbonatfreien Titrationslösungen, der Einfluß der Kochdauer bei ganz schwach sauren karbonathaltigen Titrationslösungen, der Einfluß des Säureüberschusses in der Titrationslösung und schließlich der Einfluß der Salzkonzentration in der zu titrierenden Lösung untersucht.

Den Versuchen wurden immer 10 ccm einer Magnesiumtetraboratlösung zu Grunde gelegt, die in dieser Menge 5,0 mg MgB_4O_7 enthielt und gegen Phenolphthalein schwach sauer reagierte. Wir verwendeten immer die oben erwähnten Titrierkölbchen und titrierten stets unter Natronkalkrohrverschluß mit 0,01 normaler kohlensäurefreier Natronlauge, nachem wir vorher 25 ccm Mannitlösung zugesetzt hatten.

Einfluß der Kochdauer bei schwach sauren nicht karbonathaltigen Lösungen.

10 ccm schwach sauer reagierender Magnesiumtetraboratlösung, die 4 Tropfen 2%ige Phenolphthaleinlösung enthielten, wurden wechselnd lange erhitzt und dann unter Natronkalkrohrverschluß titriert.

Kochdauer Minuten	n/100 Natronlauge ccm	Im Mittel ccm
1	5,16	5,16
1	5,16	
3	5,14	5,16
3	5,18	
5	5,13	5,14
5	5,15	
10	5,16	5,15
10	5,14	

In neutralen oder schwach sauren Lösungen tritt demnach bei den üblichen Kochzeiten kein nennenswerter Verlust an Bor ein.

Einfluß der Kochdauer bei schwach sauren, karbonathaltigen Lösungen.

In den Titrationskolben wurden zunächst 10 ccm Magnesiumtetraboratlösung und 4 Tropfen einer 2%igen Phenolphthaleinlösung gegeben. Hierauf setzten wir 50 ccm n/10 Sodalösung und anschließend 50 ccm n/10 Salzsäure sowie, um einen Säureüberschuß zu haben, außerdem 3 Tropfen 10%ige Salzsäure zu. Es wurden die Titrierkölbchen verschieden lange gekocht und anschließend unter Natronkalkrohrverschluß titriert.

Kochdauer Minuten	n/100 Natronlauge ccm	Im Mittel ccm
1	5,72	5,71
1	5,70	
3	5,17	5,19
3	5,20	
5	5,16	5,15
5	5,14	
10	5,12	5,13
10	5,14	

Ein Blindversuch ohne Zusatz von Sodalösung und Salzsäure ergab bei einer Kochdauer von 5 Minuten 5,14 und 5,13 ccm n/100

Natronlauge. Bei einer Kochdauer von 1 Minute stellte sich der Titrationsendpunkt sehr langsam ein, was wohl durch die noch nicht völlige Entfernung der Karbonate bedingt sein dürfte.

Der Versuch ergab, daß man bei Gegenwart von Karbonat mindestens 5 Minuten kochen muß, wenn man den wahren, dem Borgehalt entsprechenden Endpunkt finden will. Der Versuch zeigte aber auch ferner, daß bei einer Kochdauer von 10 Minuten noch keine nennenswerten Borverluste eintreten.

Die Kochdauer wurde immer vom Beginn der ersten Kochwallung an gerechnet.

Einfluß eines Säureüberschusses beim Kochen der Titrationslösung.

Um den Einfluß des Säureüberschusses auf den Titrationswert studieren zu können, gaben wir in die Titrationskolben zunächst 10 ccm der Magnesiumtetraboratlösung und hierauf wechselnde Mengen von n/10 Salzsäure. Die Kochdauer wurde immer gleich, nämlich 5 Minuten, gewählt. Nach dem Kochen und Abkühlen der Kölbchen wurden die Kolbeninhalte wie bei den anderen Versuchen auch mit kohlensäurefreier 0,1 normaler Natronlauge auf schwach rosa eingestellt und hierauf in der bekannten Weise fertig titriert.

Zugesetzte n/10 Salzsäure ccm	n/100 Natronlauge ccm	Im Mittel ccm
0	5,15	5,16
0	5,16	
10	5,12	5,13
10	5,14	
20	5,19	5,21
20	5,23	
30	5,23	5,22
30	5,21	
40	5,13	5,14
40	5,15	
50	5,13	5,14
50	5,15	

Der durchschnittliche, sich aus den Versuchen mit Säurezusatz ergebende Wert beträgt 5,17 ccm und entspricht also dem Blindwert.

Aus diesem Versuch können wir den Schluß ziehen, daß ein geringer Säureüberschuß bei einer Kochdauer von 5 Minuten keine wesentliche Änderung des Titrationswertes ergibt und daß bei dem Borgehalt, wie er zu dem Versuch angewandt wurde, auch der Verdünnungsgrad keinen nennenswerten Einfluß hat.

Einfluß der Salzkonzentration auf den Titrationswert.

In die Titrierbecher gaben wir 10 ccm der Magnesiumtetraboratlösung und wechselnde Mengen n/1 Natronlauge sowie 4 Tropfen 2%ige Phenolphthaleinlösung. Nun stellten wir durch tropfenweise Zugabe von 10%iger Salzsäure die Reaktion auf schwach sauer ein und füllten dann immer bis zu einer angebrachten 100-ccm-Marke mit destilliertem Wasser auf. Die Kochzeit wurde gleichmäßig zu 5 Minuten gewählt. Anschließend wurde wie üblich titriert.

Vorgelegte ccm n/1 Natronlauge ccm	Volumen einschließlich 25 ccm Mannitlösung ccm	n/100 Natronlauge ccm
5	125	5,22
10	125	5,23
15	125	5,22
20	125	5,22
25	125	5,22
30	125	5,23
40	125	5,23

Es wurden nun die Versuche analog, nur ohne die 10 ccm Magnesiumtetraboratlösung, angesetzt und dabei folgende Werte gefunden.

Vorgelegte ccm n/1 Natronlauge ccm	Volumen einschließlich 25 ccm Mannitlösung ccm	n/100 Natronlauge ccm
5	125	0,05
10	125	0,07
15	125	0,05
20	125	0,04
25	125	0,05
30	125	0,05
40	125	0,06

Bei einem durchschnittlichen Blindwert von 0,05 ccm n/100 Natronlauge entfallen auf das Magnesiumtetraborat demnach 5,17 bzw. 5,18 ccm n/100 Natronlauge.

Der Versuch zeigte uns, daß auch bei den Salzkonzentrationen, wie wir sie bei unserer Arbeitsweise im Destillat erhalten, kein störender Einfluß auf den Titrationswert feststellbar ist.

Prüfung des für die Borbestimmung verwendeten Perhydrol medicinale.

Es blieb uns nur noch bei dem Studium der Fehlermöglichkeiten übrig, das verwendete Wasserstoffsuperoxyd zu prüfen. Nachdem wir zunächst feststellen konnten, daß es frei von Phosphorsäure war, prüften wir dasselbe auf Bor.

Hierbei wählten wir die Flüssigkeitsmenge immer gleich und zwar 100 ccm, wobei wir stets als Kochzeit 5 Minuten einhielten. Die Titration erfolgte dann in der gleichen Weise wie bei den früheren Versuchen.

Zugesetztes Perhydrol ccm	austitrierte n/100 Natronlauge ccm
0,0	0,04
1,0	0,04
5,0	0,04
10,0	0,04

Es trat beim Zusammenbringen der auf schwach rosa eingestellten Titrationsflüssigkeit mit der ebenfalls schwach rosafarbenen Mannitlösung keine Entfärbung, sondern nur eine Aufhellung des Farbtones ein, die bereits durch 1 Tropfen 0,01 normaler Natronlauge wieder ausgeglichen wurde.

Das bei den Borbestimmungen zur Oxydation der Sulfite verwendete Wasserstoffsuperoxyd war somit borfrei und konnte deshalb unbedenklich zur Untersuchung genommen werden.

Zusammenfassung.

1. In der vorliegenden Arbeit, in welcher über die in der Anhaltischen Versuchsstation in Bernburg ausgearbeitete Bestimmungsweise kleiner und kleinster Bormengen berichtet wird, werden zunächst die einzelnen Borbestimmungsmethoden bezüglich ihrer Brauchbarkeit kritisch besprochen.

Auf Grund sehr vieler in den letzten Jahren durchgeführter Boruntersuchungen kommen wir zu dem Schluß, daß zur genauen Bestimmung kleiner und kleinster Bormengen die volumetrische Methode am geeignetsten ist. Wir legten unserer Arbeitsweise die Methode von Schulek und Vastagh (15) zu Grunde, die wir verschiedentlich zu verbessern versuchten.

2. Es wird die Herstellung von absolut kohlensäurefreier Natronlauge besprochen, da nur eine völlige Kohlensäurefreiheit Gewähr für richtige Werte bieten kann.

3. Die Unterschiede unserer Arbeitsweise gegenüber den bisher bekannten Methoden werden angegeben und es wird dabei gezeigt, daß wir durch die Einführung von besonderen mit Natronkalkröhren verschließbaren Titrierkölbchen aus borfreiem Glas und Titration unter Natronkalkverschluß jede auch nur geringste Fehlermöglichkeit durch Hinzutreten von Luftkohlensäure ausschalten. Ferner wird gezeigt, daß es unter diesen Vorsichtsmaßregeln sehr wohl möglich ist, mit nur einem Indikator arbeiten zu können. Dadurch wird eine Fehlerquelle ausgeschaltet, die sich aus den verschiedenen Umschlagsgebieten der beiden Indikatoren, Sofnolrot-Phenolphthalein, Methylrot-Phenolphthalein (oder Naphtholphthalein) oder schließlich Methylorange-Phenolphthalein (oder Naphtholphthalein) naturgemäß ergibt. Allein durch diesen Umschlagsunterschied werden alle veröffentlichten Spurenwerte bei 1—2 g Einwaage an sich schon fragwürdig. Wir bevorzugen zur Titration Phenolphthalein gegenüber Naphtholphthalein, da unserer Erfahrung nach der Umschlag von Weiß nach Rosa leichter erkannt werden kann als der sehr lange Umschlagsweg von Gelb über Grün nach Blau. In der Arbeit wird weiter darauf hingewiesen, daß man bei der Bestimmung kleiner und kleinster Bormengen unbedingt zu größeren Einwaagen übergehen muß, da nur diese Anspruch auf ein homogenes Durchschnittsmuster erheben können. Daß man ohne große Schwierigkeiten die Methylalkohol-Schwefelsäure-Destillation mit größeren Einwaagen durchführen kann, haben unsere Versuche ergeben. Es werden Zahlen für Einwaagen genannt, die nach der Meinung der Verfasser eventuell Richtzahlen für Einwaagen bei Borbestimmungen sein können, wenn die Ergebnisse den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen und nicht nur wahrscheinliche sein sollen.

4. Es wird die von den Verfassern angewendete Arbeitsweise besprochen und dabei folgendes besonders herausgestellt: 1. Abtrennung des Bors als Borsäuremethylester durch Destillation.

2. Zerstörung der Sulfite, Formiate und Azetate. 3. Austreibung der Kohlensäure. 4. Titration der isolierten Borsäure unter Verwendung nur eines Indikators und unter Natronkalkverschluß.

5. Zuletzt wird noch über Versuche berichtet, die angestellt wurden, um alle eventuell bei der Titrationsbestimmung störenden Einflüsse zu studieren.

6. Die vorliegende Arbeit sollte lediglich unsere Arbeitsweise herausstellen, während wir uns eine Veröffentlichung unserer Boruntersuchungen mit Zahlenmaterial für später vorbehalten.

Schrifttum.

1. Hudig, J. und J. J. Lehr: Einige Bemerkungen über Chilesalpeter in Beziehung zur Borfrage. Bodenkunde und Pflanzenernährung, Berlin, **9/10**, 1938, 552—579.
2. Rosenbladt, Th.: Über quantitative Borsäure-Bestimmung. Z. analyt. Chem., Wiesbaden, **26**, 1887, 18—23.
3. Gooch, F. A.: Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. 1886—1887, p. 167. Ref. in Z. analyt. Chem., Wiesbaden, **26**, 1877, 364—367.
4. Gooch, F. A. und L. C. Jones: Die Bestimmung der Borsäure. Z. anorg. Chem., **19**, 417—426 und Americ. chem. J. **9**, 23.
5. Thaddeeff, Constantin. Bestimmung der Borsaure als Borfluorkalium. Z. analyt. Chem., Wiesbaden, **36**, 1897, 568—637.
6. Goldschmidt, V. M. und Cl. Peters: Zur Geochemie des Bors. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen. Math.-phys. Klasse. 1932, 402—407 und 1932, 528 bis 545.
7. Rosenheim, A. und F. Leyser: Über Polyborate in wasseriger Lösung. Z. f. anorg. u. allg. Chem., Berlin, **119**, 1921, 1—38.
8. Bertrand, G. und H. Agulhon: Über ein neues Verfahren zur Bestimmung sehr kleiner Mengen Bor in organischen Stoffen. Annal. chim. analyt., **19**, 1914, 170—174. Ref. in Z. Nahr. Genußm. Berlin, **32**, 1916, 342. Bertrand, G. und H. Agulhon: Schnelle Bestimmung der normalen oder zugesetzten Borsaure in Nahrungsmitteln. Annal. chim. analyt., **19**, 1914, 211—214. Ref. in Z. Nahr. Genußm., Berlin, **32**, 1916, 342—343.
9. Gottschall, Rudolf: Über die Bestimmung kleinster Mengen von Borsaure in Böden, Düngemitteln und Ernteprodukten. Dissertation, Gottingen, 1935.
10. Stamm, J.: Kongorot als Reagens auf Borsaure. (Pharmacia, 1924, Dorpat, Univ. Sep. v. Vf.) Ref. in Chem. Cent., Berlin, 1925 I, 871.
11. Feigl, F. und P. Krumholz: Beitrage zur qualitativen Mikroanalyse von Säuren. Mikrochemie, Pregl-Festschrift, Wien, 1929, 77—86. Ref. in Chem. Cent., Berlin, 1930 I, 1181.
12. Zorkin, F. K.: J applied chem. N. S. S. R., 1936, 1506.
13. Stettbacher, A.: Colorimetrische Bor-Bestimmung in Düngern und Böden mit p-Nitrobenzol-azo-chromotropsaure. Chem. Ztg., Köthen, **62**, 1938, H. 72, 646.
14. Bollmann, A.: Bestimmung kleinster Bormengen. Der Forschungsdienst, Berlin, **2**, 1936, H. 12, 600—603.
15. Schulek, E. und G. Vastagh: Beiträge zur quantitativen Bestimmung der Borsäure. Z. analyt. Chem., München, **84**, 1931, 167—184.
16. Chapin, W. H. in E. T. Wherry und W. H. Chapin: Bestimmung von Borsäure in unlöslichen Gesteinen. Journ. Americ. Chem. Soc., **30**, 1908, 1687—1701. Ref. in Chem. Cent., Berlin, 1909 I, 574—576.
17. Jannasch, P. und F. Noll: Über die quantitative Bestimmung der Borsäure. Journ. prakt. Chem., **99**, 1919, 1—33.
18. Hönig, M. und G. Spitz: Über die maßanalytische Bestimmung der Borsäure. Z. f. angew. Chem., Berlin, **9**, 1896, H. 18, 549—552.

19. Nicolardot, P., und J. Boudet: Über die Bestimmung der Borsäure in besonderen Gläsern. Bull. Soc. Chim. de France (4) **21**, 97—101. Ref. in Chem. Cent., Berlin, **21**, 1917 II, 246.
20. Sullivan, E. C. und W. C. Taylor: Einige Schnellmethoden zur Glasanalyse. Journ. Ind. Eng. Chem., **6**, 1914, 897—899. Ref. in Z. analyt. Chem., München **55**, 1916, 598—599.
21. Strecker, W. und E. Kannappel: Über die Bestimmung der Borsäure. Z. analyt. Chem., München, **61**, 1922, 378—397.
22. Willcox, L. W.: Bestimmung von Bor in natürlichen Wässern und Pflanzenmaterialien. Ind. Eng. Chem. Analytical Edition, **2**, 1930, 358—361. Ref. in Z. analyt. Chem., München, **84**, 1931, 384—386 und in Chem. Cent., Berlin, 1931 I, 2904.
23. Gottschall, Rudolf: Über die Bestimmung kleinster Mengen von Borsäure in Böden, Düngemitteln und Ernteprodukten. Dissertation, Göttingen, 1935.

[260]

Stickstoffbestimmung in nitrathaltigen Pflanzen.

Von **E. Rauterberg** und **E. Knippenberg**.

Arbeiten aus der Landwirtschaftlichen Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikats Berlin-Lichterfelde-Süd.

Eingegangen: 15. Februar 1939.

Bei unseren Untersuchungen über den Einfluß der verschiedenen Wachstumsfaktoren auf die Eiweißbildung haben wir in grünen Pflanzen aus Vegetationsgefäßen bis 1,5% Nitratstickstoff in der Trockensubstanz feststellen können. In unserer Veröffentlichung (1): „Die Bestimmung verschiedener Stickstoff-Fraktionen in der Pflanze unter besonderer Berücksichtigung des α-Aminosäure-Stickstoffes" wurde von uns schon auf die Schwierigkeiten hingewiesen, die bei der Gesamtstickstoffbestimmung in Gegenwart größerer Nitratmengen auftreten. Bei der Gesamtstickstoffbestimmung wird der Nitratstickstoff an Phenol gebunden, das entstandene Nitrophenol wird mit Thiosulfat nach Förster (2) oder mit Zinkstaub nach Jodlbauer (3) reduziert. Nach Zusatz eines Gemisches Selen-Kaliumsulfat wird wie üblich aufgeschlossen. Wenn größere Nitratmengen vorliegen, wird freilich ein Teil des Nitratstickstoffes nicht erfaßt. Bei unseren Untersuchungen haben wir bei nicht übermäßig großen Nitratmengen eine Kontrolle der Gesamtstickstoffbestimmung, da in allen Fällen auch der Gehalt an Eiweißstickstoff und Nichteiweißstickstoff nach Trennung mit Trichloressigsäure bestimmt wird. Der Nitratstickstoff wird in der trichloressigsauren Lösung mit Zinkstaub und Kupfersulfat in schwefelsaurer Lösung reduziert. Wie unsere Untersuchungen (1) (Tabelle 4, Seite 341) zeigten, werden kleine Nitratmengen vollkommen reduziert. Ist der Nitratgehalt größer, muß mit einer kleineren Einwaage gearbeitet werden. Wenn die Pflanzen in frischem Zustand untersucht werden, ist es aber nicht möglich, die Nitratbestimmung vor den Bestimmungen der anderen Stickstofffraktionen durchzuführen. Bei Einwaage von 10 oder 20 g Frischsubstanz für die Bestimmung von Eiweiß- und Nichteiweißstickstoff kann es bei großen Nitratmengen vorkommen, daß die für Nichteiweißstickstoff ermittelte Menge zu klein ausfällt, da ein Teil des Nitratstickstoffes nicht reduziert wird. Wir haben deshalb unsere Bemühungen nicht eingestellt, den Gesamtstickstoff in der Pflanze auch bei größerem Nitratgehalt restlos zu erfassen.

Eine Reduktion des Nitratstickstoffes in der Gesamtsubstanz, also eine Verbesserung oder Abänderung der Methode von Förster und Jodlbauer führte zu keinem Erfolg. Salpetersäure wird durch die starke Schwefelsäure, welche zum Nitrieren nötig ist, zu leicht ausgetrieben. Es wurde deshalb versucht, die Methode zur Bestimmung des Nichteiweißstickstoffes so zu verbessern, daß

auch bei größerem Nitratgehalt der gesamte Stickstoff erfaßt wird. Hier waren zwei Möglichkeiten vorhanden. Entweder konnte der Nitratstickstoff zu Ammoniak reduziert werden, oder der Nitratstickstoff mußte entfernt werden, so daß nur organisch gebundener Stickstoff zu bestimmen ist. Der Gesamtstickstoff in der Pflanze ist dann die Summe von Eiweißstickstoff, organisch gebundenem Nichteiweißstickstoff und Nitratstickstoff, der gesondert zu bestimmen ist.

Für die Untersuchungen stellten wir uns einen trichloressigsauren Pflanzenauszug her, also eine Lösung, die nur solche stickstoffhaltigen Verbindungen enthielt, die zu den Nichteiweißstoffen gehören. Zu dieser trichloressigsauren Lösung, die keinen Nitratstickstoff enthielt, da nitratfreie Pflanzensubstanz gewählt war, wurden verschiedene Mengen Nitratstickstoff zugesetzt. Ein Eindampfen der mit Schwefelsäure angesäuerten Lösung zum Vertreiben der Salpetersäure war, wie auch schon sonst festgestellt wurde, erfolglos. Die Salpetersäure wurde nicht nur ausgetrieben, sie oxydierte auch einige organische Verbindungen und wurde selber zu salpetriger Säure reduziert, die mit der Aminogruppe der α-Aminosäure reagierte und so einen Verlust von organisch gebundenem Stickstoff bewirkte.

$$2\,HNO_3 \rightarrow 2\,HNO_2 + O_2$$

$$HNO_2 + NH_2CHR\ COOH = N_2 + H_2O + OHRCH_2COOH.$$

Auch beim Eindampfen der neutralisierten trichloressigsauren Lösung wurde organisch-gebundener Stickstoff ausgetrieben. Das trichloressigsaure Natrium wurde beim Eindampfen zersetzt, Kohlensäure abgespalten und es bildete sich Chloroform, die Lösung wurde alkalisch. Beim weiteren Erhitzen der alkalischen Lösung wurde Ammoniak aus den organischen Verbindungen abgespalten. Die Trichloressigsäurelösung ohne Schwefelsäurezusatz einzudampfen, ließ sich auch nicht durchführen, da es zu Verlusten von organisch-gebundenem Stickstoff kam. Die Trichloressigsäure spaltete beim Eindampfen Salzsäure ab. In der salzsauren Lösung werden die Nitrate oxydierend auf organische Verbindungen gewirkt haben, die dabei gebildete salpetrige Säure hat ebenso wie beim Eindampfen der schwefelsauren Lösung α-Aminosäurestickstoff freigemacht.

Um den eiweißfreien Pflanzenauszug ohne Stickstoffverluste eindampfen zu können, wurde die Trichloressigsäure durch Essigsäure ersetzt. Frühere Untersuchungen (1) (Tab. 1) hatten gezeigt, daß durch Essigsäure die gleiche Menge von Stickstoffverbindungen aus Pflanzenaufschlämmungen ausgefällt wird wie mit Trichloressigsäure. Der essigsaure mit Nitrat versetzte Pflanzenauszug konnte ohne Verlust an organisch-gebundenem Stickstoff eingedampft werden. Der Rückstand wurde mit Xylenol und Schwefelsäure versetzt, das gebildete Nitroxylenol wurde nach dem Verdünnen mit Wasser verkocht und in dem Rückstand nach Kjeldahl bestimmt. Da eine größere Menge Stick-

stoff gefunden wurde als die Lösung an organisch-gebundenem Stickstoff enthielt, mußte ein Teil der Salpetersäure reduziert sein.

Zu einer weiteren Probe des nach Zusatz von Nitraten eingedampften essigsauren Pflanzenauszuges wurde Ferrosulfat und Schwefelsäure gegeben. Durch das Ferrosulfat wird die Salpetersäure in der schwefelsauren Lösung zu Stickoxyd reduziert und beim Erwärmen ausgetrieben. Die im Rückstand nach Kjeldahl bestimmte Stickstoffmenge war aber auch hier größer als die in der Lösung enthaltene Menge an organisch gebundenem Stickstoff. Auch hier muß in der stark schwefelsauren Lösung ein Teil der Salpetersäure bis zum Ammoniak reduziert worden sein.

Da anscheinend eine restlose Beseitigung der Salpetersäure durch das Ferrosalz in saurer Lösung möglich ist, wurden weitere entsprechende Versuche durchgeführt. Die Schwefelsäure, welche in hoher Konzentration eine Verkohlung von Pflanzensubstanz hervorruft, die wahrscheinlich mit einer Reduktion von Nitraten zu Ammoniak verbunden ist, wurde durch Salzsäure ersetzt. Der Eindampfrückstand wurde mit einer gesättigten Ferrochloridlösung versetzt und mit konzentrierter Salzsäure angesäuert und erwärmt.

$$KNO_3 + 3\,FeCl_2 + 4\,HCl = KCl + 3\,FeCl_3 + 2\,H_2O + NO.$$

Wie die Zahlen in der Tabelle 1 zeigen, werden große Mengen von Nitratstickstoff restlos ausgetrieben, ohne daß organisch-gebundener Stickstoff verloren geht.

Tabelle 1.

Stickstoffbestimmung nach Reduktion der Nitrate mit Ferrochlorid.

Angewandte ccm Lösung	Zugegebener mg NO_3-N	Analyse	mg N
50	0	Eingedampft und aufgeschlossen	9,2
50	0		9,3
50	5	Mit der NO_3-Menge eingedampft, die HNO_3 mit $FeCl_2$ reduziert und aufgeschlossen	9,2
50	10		9,3
50	20		9,5
50	30		9,2
50	35		9,3
50	35		9,3

Vorschrift zur Bestimmung von organisch-gebundenem Stickstoff in nitrathaltiger Pflanzensubstanz.

Eine Menge der Probe, die ungefähr 2 g Trockensubstanz entspricht, wird in einen 100 ccm fassenden weithalsigen Erlenmeyerkolben eingewogen und mit etwa 70 ccm Wasser auf dem siedenden Wasserbad $^1/_2$ Stunde erhitzt. Nach dem Abkühlen werden 25 ccm $5\,^0/_0$ige Essigsäure zugegeben. Am nächsten Tage wird durch ein gewöhnliches Faltenfilter in ein Becherglas filtriert, und der Rückstand auf dem Filter wird mit $1\,^0/_0$iger Essigsäure einige Male ausgewaschen. Das Filtrat wird auf dem Wasserbade

zur Trockne eingedampft und in 5—10 ccm Wasser aufgenommen. Es ist dabei darauf zu achten, daß sich der Eindampfrückstand vollkommen vom Boden des Glases löst. Die Aufschlämmung wird mit gepulvertem Ferrochlorid gesättigt (etwa 5 g $FeCl_2$) und mit 20 ccm konzentrierter Salzsäure versetzt. Das Becherglas wird mit einem Uhrglas bedeckt und für etwa 1 Stunde auf ein siedendes Wasserbad gestellt, innerhalb dieser Zeit wird öfter umgeschüttelt. Sodann werden das Uhrglas und die Wände des Becherglases abgespült. Im bedeckten Becherglas wird die Lösung auf freier Flamme aufgekocht, dann zur Hälfte eingeengt und mit dem Rückstand auf dem Filter in einen Kjeldahlkolben gegeben. Nach dem Verdampfen des Wassers wird wie üblich mit Schwefelsäure und einem Kaliumsulfat-Selengemisch aufgeschlossen.

Der Nitratstickstoff in der Pflanzensubstanz wird mit Xylenol (4, 5, 6) bestimmt. Die Summe von organisch-gebundenem Stickstoff und Nitratstickstoff ergibt den Gesamtstickstoff.

Die restlose Beseitigung der Salpetersäure aus dem sauren Pflanzenauszug ermöglicht es, eine Bestimmung des Gesamtstickstoffes in der Pflanzensubstanz durchzuführen, auch wenn sehr große Nitratmengen vorhanden sind. Wie wenig brauchbar in solchen Fällen die Bestimmung des Gesamtstickstoffes mit Phenolschwefelsäure ist, zeigen die Zahlen in der Tabelle 2, die einem Versuchsbericht unserer Vegetationsversuche entnommen worden sind.

Tabelle 2.

Nr.	% N NO_3-N zerstört	% NO_3-N kolorimetrisch bestimmt	% Gesamt-N berechnet	% Gesamt-N mit Phenolschwefelsäure bestimmt
1	3,15	0,22	3,37	3,32
2	4,43	0,25	4,68	4,54
3	2,60	0,34	2,94	2,68
4	3,43	0,60	4,03	3,78
5	3,68	0,82	4,50	4,22
6	3,60	0,82	4,42	4,00
7	3,96	1,03	4,99	4,46
8	3,49	1,57	5,06	4,04
9	3,73	1,76	5,49	4,43
10	3,68	1,94	5,62	4,65

In der Spalte 2 ist der organisch-gebundene Stickstoff aufgeführt, der wie oben beschrieben, bestimmt war. Der in Spalte 3 aufgeführte Nitratstickstoff war mit Xylenol bestimmt. Die Summe der Zahlen aus Spalte 2 und 3 ergibt den Gesamtstickstoff in Spalte 4. Ein Vergleich dieser Zahlen mit denen in Spalte 5 unter „Gesamt-N bestimmt mit Phenolschwefelsäure" zeigt, wie groß die Verluste bei der Bindung der Salpetersäure an Phenol sein können.

Weitere Versuche, die Nitrate direkt aus einer Pflanzenaufschlämmung mit Salzsäure und Ferrochlorid auszutreiben, um die Abtrennung der durch verdünnte Säuren fällbaren Stickstoffverbindungen und der nicht löslichen Pflanzensubstanz zu vermeiden, waren erfolglos, die Salpetersäure wurde nicht restlos ausgetrieben.

Zusammenfassung.

Es wird eine Methode beschrieben, den Gesamtstickstoff in nitrathaltigem Pflanzenmaterial restlos zu erfassen. Der Nitratstickstoff und der organisch-gebundene Stickstoff (einschließich Ammoniakstickstoff) werden getrennt bestimmt, die Summe von beiden ergibt den Gesamtstickstoff. Der Nitratstickstoff wird als Nitroxylenol kolorimetrisch bestimmt. Zur Bestimmung des organisch-gebundenen Stickstoffes werden die Nitrate mit Ferrochlorid in salzsaurer Lösung reduziert und durch Erwärmen ausgetrieben.

Schrifttum.

1. Alten, F., E. Rauterberg u. E. Knippenberg: Die Bestimmung verschiedener Stickstoff-Fraktionen in der Pflanze unter besonderer Berücksichtigung des Aminosäure-Stickstoffes. Bodenkunde u. Pfanzenernähr., Berlin, **8**, H. 5/6, 1938, 335.
Berlin I, 1923, 224.
2. nach König, I.: Die Untersuchungen landw. und landw.-gewerbl. Stoffe.
3. Ebenda.
4. Blom, I. u. C. Treschow: Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung kleinster Mengen von Nitraten in Böden u. Pflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **13**, 1929, 159.
5. Treschow, C. u. E. K. Gabrielsen: Zur Bestimmung von Nitrat in Pflanzen und Böden. Ebenda, Berlin, A, **32**, 1933, 357.
6. Alten, F., B. Wandrowsky u. E. Hille: Die Bestimmung des Nitrat-Stickstoffs in Pflanzensubstanzen als Nitroxylenol. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **1**, 1936, H. 5/6, 340. [284]

„Was leistet der Stickstoff im Weizenbau?"

Ergebnisse von Stickstoffdüngungsversuchen aus den Jahren 1925—1937.

Arbeiten der Landwirtschaftlichen Abteilung der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.

Von **F. Ströbele, H. Keese** u. **H. Reith** (Ref.).

Eingegangen: 14. Januar 1939.

In Band 7 dieser Zeitschrift, Heft 3/4, 1938, haben A. Biederbeck, H. Keese und H. Reith bereits die Frage: „Was leistet der Stickstoff im Kartoffelbau?" behandelt und in der Einführung zu ihrer Abhandlung die nötigen Hinweise gegeben, wie das ausgewertete Versuchsmaterial gewonnen wurde. Im folgenden soll über die Ergebnisse der vorliegenden exakten Stickstoffdüngungsversuche zu Winterweizen aus den Jahren 1925—1937 berichtet werden.

Die Stickstoffdüngung hat sich, wie bekannt, zuerst im Getreidebau eingeführt. Anfänglich setzte man sie nur zur Kräftigung schwacher, schlecht überwinterter Saaten ein. Bei der augenfälligen Wirkung des Stickstoffs erkannte man dann aber sehr bald die Zweckmäßigkeit regelmäßiger Stickstoffanwendung, und so sind die fortschrittlichen Landwirte schon lange vor dem

Kriege zu regelmäßiger Stickstoffdüngung, namentlich des Brotgetreides, übergegangen. Natürlich haben die landwirtschaftlichen Institute und Versuchsstationen bereits damals Zahlenmaterial über die Wirkung der Stickstoffdüngung gesammelt, aber bei den vielfältigen Aufgaben, die damals auf die wenigen Forschungsstellen einstürmten und bei den viel geringeren Verkehrsmöglichkeiten mußte das Material nach Zahl und gebietsmäßiger Verteilung zwangsläufig beschränkt bleiben. Als dann nach dem Kriege das Feldversuchswesen stark ausgebaut und alle wichtigen Fragen des Ackerbaues neu aufgerollt wurden, hat man auch die Frage nach Wirkung der Stickstoffdüngung zu Getreide erneut aufgegriffen und überall in Deutschland in Feldversuchen geprüft. So gewann man für alle Verhältnisse der Praxis neue zahlenmäßige Unterlagen, die zugleich auch die größere Leistungsfähigkeit der neuen, gegenüber der Vorkriegszeit z. T. wesentlich verbesserten, Sorten berücksichtigten.

Die vorliegende Auswertung umfaßt alle Versuche mit genügender Verläßlichkeit und Genauigkeit (m% unter 4,5). Um möglichst deutlich in Erscheinung treten zu lassen, wie sich die N-Verwertung unter dem Einfluß der wirtschaftlichen und natürlichen, vor allem der klimatischen Besonderheiten der deutschen Weizenbaugebiete gestaltet, sind die Versuche nach Anbaugebieten geordnet und ausgewertet worden.

Folgende Anbaugebiete wurden unterschieden:

1. Ost	umfassend	Ostpreußen und Ostpommern (Reg.-Bez. Köslin).
2. Nord	umfassend	Schleswig-Holstein, Mecklenburg und das nordliche Westpommern.
3. Nordwest	umfassend	Oldenburg, Hannover, Braunschweig und Lippe ausschließlich ihrer Höhengebiete (Harz, Teutoburger Wald usw.) sowie die nördlichen zum Flachland gehörigen Teile von Westfalen und Rheinland.
4. Neumark-Pyritz	umfassend	das nördliche Westpommern (Pyritz) und die angrenzenden Teile Brandenburgs (Neumark, Uckermark).
5. Schlesien	umfassend	die beiden Schlesien ausschließlich der westlichen Höhengebiete.
6. Sachsen	umfassend	die Provinz Sachsen, das Land Sachsen ausschließlich seiner Höhengebiete und die begünstigten Teile Thüringens.
7. Oberrhein	umfassend	die oberrheinische Ebene und die benachbarten begünstigten Gebiete im Nahetal, im Maintal, in der Wetterau usw.
8. Mitteldeutsches Höhengebiet	umfassend	alle Höhengebiete nördlich einer in Höhe des Mains gedachten Linie.
9. Schwäb.-fränk. Gebiet	umfassend	die Weizenanbaugebiete in Württemberg nördlich der Alb und in Franken, soweit sie nicht zu Gebiet 7 gehören.
10. Südbayern	umfassend	die südlich des Anbaugebietes 9, also hauptsächlich die im Donautal und südlich davon gelegenen Teile von Bayern und Württemberg.

Da der Weizen an Boden und Klima bereits ziemlich erhebliche Ansprüche stellt, sind einige Teile des Reiches vom Anbau so gut wie ausgeschlossen; es sind dies namentlich die leichten Böden des östlichen und nordwestlichen Deutschlands sowie die höchsten Lagen unserer Mittelgebirge und des Alpenvorlandes. Natürlich sind dort, wo der Weizenbau völlig zurücktritt, keine Versuche angelegt worden. Die Zahl der Versuche verteilt sich

auf die einzelnen Gebiete und innerhalb derselben im großen und ganzen entsprechend der Ausdehnung und Bedeutung des Anbaues. Nur Sachsen weist im Vergleich dazu eine zu geringe Zahl von Versuchen auf und innerhalb des Gebietes Nordwest das nördliche Rheinland, Gebiete also, die in der Düngungsintensität ohnehin seit je mit an der Spitze standen.

Versuchsvoraussetzungen.

Die Bodenverhältnisse in den Versuchen waren kurz folgende: Von der Gesamtzahl der Versuche lagen reichlich 40 % auf mittelschwerem und schwerem Lehm und Ton (schwerer Boden), ebensoviele auf sandigem und humosem Lehm (Mittelboden), der Rest, knapp ein Fünftel, auf lehmigem und humosem Sand (leichter Boden). Naturgemaß ist das Verhältnis der Bodenarten in den einzelnen Gebieten völlig verschieden. Überdurchschnittlich ist der Anteil der schweren Böden besonders in Nordwest, am Oberrhein, im schwäbisch-fränkischen Anbaugebiet und im mitteldeutschen Höhengebiet; einen entsprechenden Ausfall haben in diesen Gebieten vor allem die mittleren Böden zu verzeichnen. Der Prozentsatz der schweren Boden bleibt wesentlich unter dem Durchschnitt in Ost, Nord und Neumark-Pyritz, in geringerem Maße auch im südlichen Bayern und andeutungsweise in Schlesien. Entsprechend stärker verbreitet sind dafür in Schlesien die leichten, in Ost und im südlichen Bayern die mittleren, in Nord und Neumark-Pyritz die mittleren und leichten Böden. Am geringsten ist der Anteil der leichten Böden in Bayern. Das Minus bei den leichten erscheint als zusatzliches Plus bei den mittleren Böden.

In fast 60 % der Versuche war der Boden neutral oder alkalisch, in knapp 40 % schwach sauer, nur selten sauer.

Unter den Vorfrüchten stellten die Hackfruchte das Hauptkontingent, der Weizen folgt auf Hackfrucht in fast 60 von 100 Fallen; in reichlich 20 % der Versuche steht der Weizen nach Leguminosen, in den übrigen 20 % nach Getreide. Von den Hackfrüchten bestand reichlich die Hälfte aus Kartoffeln, die andere Hälfte fast ganz aus Rüben, ungefahr zu gleichen Teilen Futter- und Zuckerrüben. Bei den Leguminosen handelt es sich fast ausschließlich um Klee, Kleegras und Kleebrache, in einigen Fallen auch um Pferdebohnen; unter den Getreidevorfrüchten blieb die Winterung fast ganz hinter der Sommerung (überwiegend Hafer) zurück. Verständlicherweise ist das Verhältnis der Vorfrüchte gebietsweise sehr verschieden. In Nord und Neumark-Pyritz beträgt der Anteil der Hackfrüchte kaum die Hälfte des Reichsdurchschnitts. Der Ausfall bei den Hackfrüchten wird zum Teil durch Getreide ausgeglichen, in der Hauptsache aber durch Klee und Kleebrache; letztere ist hier betriebswirtschaftlich besonders fest verankert. Im Anbaugebiet Ost treten die Hackfrüchte, wohl wegen ihrer spatliegenden Ernte und des früh einsetzenden Winters, überhaupt nicht als Vorfrucht auf, ihre Stelle nehmen fast ausschließlich die Futterleguminosen ein. Im Gegensatz zu den genannten Gebieten steht der Weizen am Oberrhein, im schwäbisch-fränkischen Gebiet und vor allem in Nordwest, in Gebieten also, in denen der Winter verhältnismäßig spät einsetzt, besonders oft nach Hackfrucht. Wenn die Hackfrüchte auch im mitteldeutschen Höhengebiet mit überdurchschnittlicher Häufigkeit als Vorfrucht erscheinen, so dürfte das in der Hauptsache auf der relativ geringen Ausdehnung des Weizenbaues in diesem Gebiet beruhen. Im schwäbisch-fränkischen Anbaugebiet und mitteldeutschen Höhengebiet drangt die Hackfrucht vor allem die Vorfrucht Getreide zurück, in Nordwest, wo die Hackfrüchte über 80 % der Vorfrüchte stellen, sowohl das Getreide wie den Klee. Im Gebiet Oberrhein sind die Leguminosen, wenn man von der Luzerne absieht, an sich weniger verbreitet, sie erscheinen daher in den Versuchen auch selten als Vorfrucht; hier breiten sich also die Hackfrüchte und mehr noch das Getreide, das hier den höchsten Anteil erreicht, gewissermaßen in einer unbesetzten Stellung aus. Ähnlich, wenn auch weniger ausgesprochen, liegen die Verhältnisse in Sachsen und Schlesien. Im südlichen Bayern ist der Hackfruchtanteil durchschnittlich, die Leguminosen treten leicht hervor, das Getreide leicht zurück.

Etwa die Hälfte aller Versuche stand in zweiter Stallmisttracht, in 10% der Versuche hatte der Weizen selbst Stallmist erhalten.

Die Grunddüngung mit Phosphorsäure und Kali wurde ganz überwiegend im Herbst zur Saat verabreicht. Je nach der Höhe der Stickstoffgaben (30—60 kg N) bewegen sich die Phosphorsäuregaben durchweg zwischen 30 und 60 kg P_2O_5, die Kaligaben zwischen 60 und 100 kg K_2O.

Die Stickstoffdüngung wurde zu verschiedenen Zeiten verabreicht; ganz selten — in 3% der Versuche — erfolgte sie in ganzer Gabe im Herbst, am häufigsten in Sachsen. In 20% der Versuche wurde die Stickstoffdüngung in eine kleinere Herbst- und eine größere Frühjahrsgabe aufgeteilt, es geschah besonders oft in Sachsen, im mitteldeutschen Höhengebiet und am Oberrhein, selten in den östlichen Anbaugebieten, Ost, Nord, Neumark-Pyritz und Schlesien. In rund $^3/_4$ aller Versuche gab man die N-Düngung ausschließlich nach Winter, und zwar überwiegend in einer Gabe in der Zeit vom 15. März bis 15. April; die Anwendung erfolgte in Nord, Neumark-Pyritz und Schlesien häufiger im März, in Ost, Nordwest, im schwäbisch-fränkischen Gebiet und in Südbayern meist im April. Geteilt wurde die Frühjahrsgabe des öfteren am Oberrhein, in Neumark-Pyritz und in Südbayern.

Zur Stickstoffdüngung wurden in rund 23% der Versuche reine Salpeterdünger (vornehmlich Kalksalpeter) verwandt, in 13% reine Ammoniakdünger (hauptsächlich schwefelsaures Ammoniak) und in rund 64% der Versuche Stickstoffdünger, die zugleich Ammoniak und Salpeter enthalten (Kalkammonsalpeter, Leuna-Montan, Nitrophoska).

In den vorliegenden Versuchen tritt noch die ganze Vielzahl der Weizensorten auf, die sich vor der Sortenbereinigung (1934) auf dem Markt befanden. Am häufigsten, und zwar in 18% der Versuche, ist Carstens V vertreten; Salzmunder Standard, Criewener 104 und Langs Traublinger erscheinen in je 8,5% der Versuche, Strubes Dickkopf in etwa 6% der Versuche. Die Häufigkeit der übrigen 80 Sorten bleibt in jedem Falle unter 3,5%. Teilt man die in den Versuchen gebauten Sorten ein in Intensivsorten (wie Strubes Dickkopf, Carstens V, Heine II), in mittelintensive Sorten (wie Standard, Stocken, früher Bastard) und Extensivweizen (wie Criewener 104, Siegerländer, Traublinger, Bayernkönig), so ergibt sich das Verhältnis 46 : 26 : 28. Natürlich ist das Verhältnis von intensiven : mittelintensiven : extensiven Sorten gebietsweise sehr verschieden. Vielfach ist es durch die natürlichen Standortsverhältnisse bedingt, häufig aber auch durch übliche Wirtschaftsweise und Qualitätsansprüche eines Bezirks sowie durch die Lage der Zuchtstätten. Die Intensivsorten sind besonders in Nordwest und am Oberrhein weit über Durchschnitt verbreitet; dem Mehr bei den Intensivsorten entspricht in Nordwest ein Weniger bei den mittleren, am Oberrhein ein Weniger bei den extensiven Sorten. Nur ganz selten wurden Extensivsorten in Sachsen gebaut; hier bringen fast ausschließlich die Mittelsorten den Ausgleich. Die größte Verbreitung haben die Extensivsorten in Ost, Neumark-Pyritz und den beiden süddeutschen Gebieten; im südlichen Bayern treten dafür die Mittelsorten zurück, in den übrigen Gebieten die Intensivsorten. In der Mark ergibt sich auf Kosten der Intensivsorten außer bei den extensiven auch bei den Mittelsorten ein Plus. Überdurchschnittlich sind die Mittelsorten in Schlesien verbreitet, einen geringeren Anteil haben dafür die Extensiv-, vor allem aber die Intensivsorten.

Es würde zu weit führen, hier auf die Witterungsverhältnisse in den in Frage kommenden Versuchsjahren näher einzugehen. Die Witterungsverhältnisse wechseln naturgemäß von Jahr zu Jahr und von Gebiet zu Gebiet und sind selbst innerhalb der einzelnen Gebiete nicht immer einheitlich. Da hier nur Ergebnisse aus einer längeren Reihe von Jahren mitgeteilt werden, ergibt sich mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit ein Ausgleich der Witterungsbesonderheiten einzelner Jahre.

Versuchsergebnisse und ihre Auswertung.

Über die Zahl der Versuche mit 30, mit 40, mit 50 und mit 60 kg/ha N sowie die Verteilung der Versuche auf die einzelnen

Übersicht 1.

Anbaugebiete	Versuche mit N-Gaben von 30 kg/ha, Anzahl der Versuche	30 kg/ha, Anzahl der Prüfungsjahre	40 kg/ha, Anzahl der Versuche	40 kg/ha, Anzahl der Prüfungsjahre	50 kg/ha, Anzahl der Versuche	50 kg/ha, Anzahl der Prüfungsjahre	60 kg/ha, Anzahl der Versuche	60 kg/ha, Anzahl der Prüfungsjahre	Gesamtzahl der Versuche[1]
	1		2		3		4		5
Ost	8	5	25	8	—	—	9	4	31
Nord	39	12	75	12	67	8	44	12	121
Nordwest	24	10	66	12	36	8	36	9	121
Neumark-Pyritz	—	—	30	10	—	—	13	6	36
Schlesien	75	8	102	11	33	8	18	7	123
Sachsen	—	—	34	11	23	6	25	8	58
Oberrhein	11	8	31	12	21	10	25	8	61
Mitteldtsch. Höhengeb.	25	9	89	13	25	9	18	8	117
Schwäbisch-fränk. Geb.	25	8	87	11	9	6	26	7	112
Südbayern	18	7	83	12	—	—	50	12	129
Reichsdurchschnitt (gew. Mittel)	225	—	622	—	214	—	264	—	903

[1]) Vergl. dazu die Ausführungen im voraufgehenden Text.

Anbaugebiete unterrichtet Übersicht 1 in den Spalten 1—5. Es handelt sich bei diesen Versuchen um Nahrstoffmangelversuche, um Versuche zur Ermittlung der zweckmaßigsten Stickstofform oder -anwendungszeit und um Versuche mit steigenden Stickstoffgaben.

Die Stickstoffsteigerungsversuche, die zu wenig zahlreich waren, um sich ausschließlich auf sie zu stützen, wurden gemäß der Zahl ihrer N-Staffeln in die entsprechende Anzahl „Versuche mit 1 Gabe“ aufgelöst. Die Steigerungsversuche wurden also in den Spalten 1—4 je nach der Zahl ihrer Staffeln mehrfach gezählt. Die wirkliche Zahl der Versuche wurde in Spalte 5, in der die Steigerungsversuche nur einmal gezählt sind, mitgeteilt. So erklärt es sich, daß die Summen der Spalten 1—4 nicht mit den Werten der Spalte 5 übereinstimmen.

Neben der Zahl und Verteilung der Versuche enthält Übersicht 1 die Kornerträge bei Grund- und Volldüngung.

Die Grunddüngung, worunter im folgenden stets die Düngung mit Phosphorsäure und Kali verstanden ist, brachte im Reichsdurchschnitt 23,8 dz/ha (s. Sp. 6 unten). Die durchschnittlichen Erträge bei Grunddüngung (Grunderträge) der einzelnen Gebiete liegen zwischen 20,3 und 26 dz/ha, schwanken also um etwa 25%.

Sie liegen deutlich über dem Durchschnitt:
in Nordwest, Sachsen und dem mitteldeutschen Höhengebiet,
mehr oder weniger um den Durchschnitt:
in Ost, Nord, Schlesien, Oberrhein und Südbayern,
deutlich unter dem Durchschnitt:
in Neumark-Pyritz und im schwäbisch-fränkischen Gebiet.

Kornerträge in dz/ha bei Grund-düngung (PK) im Durch-schnitt aller Versuche	Kornerträge in dz/ha in den Versuchen mit N-Gaben von							
	30 kg/ha		40 kg/ha		50 kg/ha		60 kg/ha	
	bei Grund-dün-gung (PK)	bei Voll-dün-gung	bei Grund-dün-gung (PK)	bei Voll-dün-gung	bei Grund-dün-gung (PK)	bei Voll-dün-gung	bei Grund-dün-gung (PK)	bei Voll-dün-gung
6	7	8	9	10	11	12	13	14
23,0	25,1	31,7	22,6	30,0	—	—	22,1	30,8
22,9	25,8	31,4	23,0	31,0	22,2	32,0	21,0	32,2
25,4	25,1	30,4	25,9	33,1	24,6	33,4	25,9	35,7
21,4	—	—	20,9	27,1	—	—	20,7	28,5
23,3	23,2	27,6	23,5	29,5	23,3	30,0	21,9	30,2
26,0	—	—	24,3	30,7	27,5	34,7	25,6	32,7
24,7	27,6	32,8	24,0	31,4	25,5	34,6	23,7	33,0
25,8	27,0	33,2	25,5	32,7	26,9	34,9	23,9	33,3
20,3	20,7	25,4	19,6	26,3	23,3	30,9	21,5	29,4
24,5	26,0	31,3	22,7	29,2	—	—	26,9	36,8
23,8	24,7	29,8	23,2	30,1	24,3	32,8	23,8	33,1

Die ermittelten Erträge liegen zwar durchweg höher als die der amtlichen Ertragsstatistik, die relative Höhe der Erträge der einzelnen Gebiete stimmt aber mit der der Statistik recht gut überein, jedenfalls kommt es nicht vor, daß ein Gebiet nach den Versuchen zur oberen und nach der Statistik zur unteren Ertragsgruppe gehort und umgekehrt.

Die Erträge bei Volldungung mit verschieden hohen N-Gaben (vgl. Übersicht 1, Sp. 8, 10, 12, 14) lassen sich nicht unmittelbar miteinander vergleichen, weil sie nicht auf gleichen Grunderträgen fußen. Wie bereits gesagt, handelt es sich bei den vorliegenden Versuchen ja nur zu einem geringen Teil um Steigerungsversuche.

Die durch die Stickstoffdungung erzielten Mehrerträge und die daraus errechneten kg-N-Leistungen sind in Übersicht 2 zusammengestellt:

Die Mehrerträge belaufen sich im Reichsdurchschnitt

bei 30 kg/ha N auf 5,0 dz,
bei 40 kg/ha N auf 6,9 dz,
bei 50 kg/ha N auf 8,6 dz,
bei 60 kg/ha N auf 9,3 dz;

sie steigen also bis zur höchsten N-Gabe stetig an. Das trifft auch in den einzelnen Gebieten, soweit Versuche vorliegen, bis zur Gabe von 50 kg N überall zu, von Sachsen abgesehen bis zur Gabe von 60 kg N.

Übersicht 2.

Anbaugebiete	Kornmehrerträge in dz/ha durch N-Gaben von				Kornerträge in kg je kg Stickstoff in den Versuchen mit N-Gaben von			
	30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha	30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ost	6,6	7,4	—	8,7	21,7	18,3	—	14,4
Nord	5,6	8,0	9,8	11,2	18,6	20,0	19,7	18,6
Nordwest	5,3	7,2	8,8	9,8	17,5	18,1	17,5	16,4
Neumark-Pyritz . .	—	6,2	—	7,8	—	15,3	—	13,1
Schlesien	4,4	6,0	7,0	7,9	14,5	15,1	13,8	13,2
Sachsen	—	6,4	7,2	7,1	—	16,1	14,4	11,9
Oberrhein	5,2	7,4	9,1	9,3	17,1	18,5	18,2	15,5
Mitteld. Höhengeb. .	6,2	7,2	8,3	9,0	20,7	18,1	16,5	15,0
Schwäb.-fränk. Geb.	4,7	6,7	7,6	7,9	15,5	16,7	15,2	13,1
Südbayern	5,3	6,5	—	9,9	17,9	16,2	—	16,6
Reichsdurchschnitt (gew. Mittel) . .	5,0	6,9	8,6	9,3	16,9	17,2	17,0	15,5

Über dem Durchschnitt liegen die Mehrerträge:
besonders kräftig und regelmäßig in Nord,
andeutungsweise in Nordwest und am Oberrhein;
die Mehrerträge bleiben regelmäßig unter dem Durchschnitt:
in Neumark-Pyritz, Schlesien, Sachsen und im schwäbisch-fränkischen Gebiet.

Zwischen der Höhe der Grunderträge und der Höhe der Mehrerträge bestehen keine gesetzmäßigen Beziehungen, im ganzen ist aber die relative Höhe der Grund- und Mehrerträge häufiger gleich als gegensinnig; denn nur in Sachsen stehen hohen Grunderträgen stets geringe Mehrerträge gegenüber und nur in Nord hohen Mehrerträgen mehrfach niedrige Grunderträge. Die Höhe der

Übersicht 3.

Anbaugebiete	Versuche mit N-Gaben von				Stroherträge in dz/ha bei Grunddüngg. im Durchsch. der Versuche mit 40 u. 60 kg/ha N
	40 kg/ha		60 kg/ha		
	Anzahl	Prüfungsjahre	Anzahl	Prüfungsjahre	
	1		2		3
Ost	19	6	—	—	53,2
Nord	48	8	32	9	44,6
Nordwest	47	8	31	8	49,4
Neumark-Pyritz	12	6	8	4	50,2
Schlesien	68	10	9	5	45,1
Sachsen	13	7	15	7	45,8
Oberrhein	22	10	23	7	44,7
Mitteld. Höhengebiet . . .	56	9	10	4	45,1
Schwäb.-frankisches Gebiet	57	9	23	6	44,3
Südbayern	80	12	45	11	46,9
Reichsdurchschnitt (gew. Mittel)	422		196		46,4

Grund- und Mehrerträge wird also offenbar nicht in erster Linie durch den Stickstoffvorrat des Bodens bestimmt; wäre dieser entscheidend, so müßten die höchsten Mehrerträge durchweg dort erzielt werden, wo die Grundertrage niedrig liegen und umgekehrt müßten sich bei hohen Grunderträgen durchweg niedrige Mehrerträge ergeben.

Die Leistung je kg Reinstickstoff (vgl. Übers. 2, Sp. 5--8) hält sich im Reichsdurchschnitt der Versuche mit 30, mit 40 und mit 50 kg/ha N fast auf gleicher Höhe (16,9, 17,2, 17,0 kg Körner je kg N), erst bei den Versuchen mit 60 kg N ist ein leichter Rückgang (15,5 kg) zu verzeichnen. In den einzelnen Anbaugebieten liegen die Verhältnisse im großen und ganzen ähnlich, die kg-N-Leistung steigt von der 30er zur 40er Gabe hin meist leicht an und fällt selbst zur 50er Gabe hin in keinem Gebiet erheblich ab. Daraus folgt, — die Vergleichbarkeit der kg-N-Leistungen aus den Versuchen mit verschieden hohen Stickstoffgaben vorausgesetzt, — daß das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs im Weizenbau nicht allzu schnell wirksam wird; weiter läßt sich daraus schließen, daß, wenn die 30er Gabe wirtschaftlich ist, auch die Gabe von 40 kg wirtschaftlich sein muß und die Wirtschaftlichkeit der 50er Gabe in allen Gebieten wahrscheinlich ist. Aus Zweckmäßigkeitsgründen soll die Erörterung der Wirtschaftlichkeitsfragen hier zunächst nicht weiter fortgesetzt werden; wir wollen vielmehr erst einen kurzen Überblick über den Einfluß der N-Düngung auf die Strohertrage zu geben versuchen.

Das Stroh hat in jüngster Zeit erheblich an Wertschätzung gewonnen, einmal weil es als gesuchter industrieller Rohstoff leicht und gut verkäuflich ist, zum andern weil man die Bedeutung einer ausreichenden Humusversorgung für die Erhaltung und Mehrung der Fruchtbarkeit von Acker- und Grünland heute wiederum stärker

Stroherträge in dz/ha in den Versuchen mit				Strohmehrerträge in dz/ha durch		Stroherträge in kg durch 1 kg N in den Versuchen mit	
40 kg/ha N		60 kg/ha N					
bei Grunddüngung (PK)	bei Volldüngung	bei Grunddüngung (PK)	bei Volldüngung	40 kg/ha N	60 kg/ha N	40 kg/ha N	60 kg/ha N
4	5	6	7	8	9	10	11
53,2	68,6	—	-	15,4	-	38,6	—
47,2	42,7	40,8	61,7	15,5	20,9	38,7	34,8
49,8	67,1	48,8	69,2	17,3	20,4	43,4	33,8
51,6	64,5	48,1	67,9	12,9	19,8	32,3	33,1
45,2	56,2	44,4	61,8	11,0	17,4	27,6	29,1
45,7	55,2	46,0	59,3	9,5	13,3	23,3	22,2
46,8	61,2	42,7	61,0	14,4	18,3	36,0	30,4
45,7	58,3	41,8	62,0	12,6	20,3	31,5	33,8
46,3	59,5	39,4	56,4	13,2	17,0	33,1	28,4
44,6	58,9	51,0	73,9	14,3	22,9	35,6	38,2
46,7	60,4	45,4	65,1	13,7	19,7	34,3	32,8

beachtet. Die Stroherträge sind bis zum Jahre 1933 in fast allen Versuchen ermittelt worden; da seitdem laut Beschluß der „Reichsarbeitsgemeinschaft Düngung" auf ihre Feststellung verzichtet werden kann, sind die Strohertragsermittlungen in den letzten Jahren seltener geworden. Trotzdem aber liegt ein recht stattliches Material vor. Wir beschränken unseren Bericht auf die Versuche mit 40 und 60 kg/ha N. Die Zahl der Versuche sowie die Erträge und Mehrerträge sind in Übersicht 3 mitgeteilt.

Der Grundertrag an Stroh belauft sich im Durchschnitt auf 46,4 dz je ha (vgl. Sp. 3).

Er liegt über dem Mittel:
 in Ost, Nordwest und Neumark-Pyritz,
im Mittel
 in Südbayern und Sachsen,
unter dem Mittel
 in Nord, Schlesien, Oberrhein, im mitteldeutschen Höhengebiet und schwäbisch-fränkischen Gebiet.

Die Mehrerträge beziffern sich im Reichsdurchschnitt
 bei einer Gabe von 40 kg/ha N auf 13,7 dz (Sp. 8)
 bei einer Gabe von 60 kg/ha N auf 19,7 dz (Sp. 9).

Daraus errechnet sich eine kg-N-Leistung von 34,3 kg Stroh bei der 40er und von 32,8 kg Stroh bei der 60er N-Gabe. Die Strohmehrerträge und die kg-N-Leistungen waren:

überdurchschnittlich:
 in Ost, Nord, Nordwest und Südbayern,
mehr oder weniger durchschnittlich:
 in Neumark-Pyritz, am Oberrhein und im mitteldeutschen Hohengebiet,
unterdurchschnittlich:
 in Schlesien, Sachsen und im schwäbisch-fränkischen Gebiet.

Ähnlich wie beim Korn besteht auch beim Stroh zwischen der Höhe der Grunderträge und der Höhe der Mehrerträge keine allgemeine Parallelität, allerdings ist eine direkte Gegensätzlichkeit ebenfalls selten.

Vergleicht man in den verschiedenen Anbaugebieten die Höhe der Grunderträge von Korn und von Stroh miteinander, so fehlt hier jede Gesetzmäßigkeit[1]). Über- und unterdurchschnittliche Korngrunderträge sind jeweils gepaart mit über- und unterdurchschnittlichen Strohgrunderträgen. Natürlich resultieren daraus unterschiedliche Korn-Stroh-Verhaltnisse in den einzelnen Gebieten; sie bewegen sich zwischen 1 : 1,75 und 1 : 2,5; im Durchschnitt aller Versuche beträgt das Verhältnis 1 : 2,0. Besser als die relative Höhe der Grunderträge von Korn und Stroh stimmt die relative Höhe der Mehrerträge überein. Das Korn-Strohverhältnis bei Volldünguug läuft daher mit dem bei Grunddüngung in allen Gebieten weitgehend parallel. Die Stickstoffdüngung hat also die Korn- und Stroherträge im Durchschnitt der Jahre allenthalben in gleicher Richtung beeiuflußt.

[1]) Für diesen Vergleich wurden die Kornerträge der „Versuche mit Strohertragsfeststellungen" besonders zusammengestellt; es besteht weitgehende Übereinstimmung mit den mitgeteilten Kornertragsergebnissen.

Nach diesem allgemeinen Überblick über die Möglichkeiten der Ertragssteigerung durch Stickstoffdüngung soll nun, um später bei der Behandlung der Frage nach der zweckmäßigen Höhe der Stickstoffdüngung umständliche Hinweise zu vermeiden, zunächst die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Stickstoffdüngung ausführlicher erörtert werden. Für die Wirtschaftlichkeit einer Düngungsmaßnahme sind entscheidend:

1. die Höhe der Mehrerträge an Korn und Stroh,
2. die Verwertungspreise der gewonnenen Produkte,
3. die Höhe der Kosten,
   a) für den Dünger,
   b) für die Mehrarbeit, also das Düngerstreuen und die zusätzliche Ernte- und Druscharbeit (die letzteren Arbeiten werden im folgenden kurz als Erntearbeiten zusammengefaßt).

Von den die Wirtschaftlichkeit bestimmenden Faktoren ist die zusätzliche Erntearbeit am schwierigsten zu erfassen. Sie ist in erster Linie durch den Mehrertrag an Stroh bedingt. Wir werden daher den Strohmehrertrag als Maßstab für die Erntemehrarbeit wählen. Dies wird um so eher zulässig sein, als Lager, wie wir später zeigen werden, nicht allzu oft der Stickstoffdüngung zur Last gelegt werden kann, bei aufrechtem Getreide aber die Mehrarbeit kaum direkt proportional zum Strohmehrertrag steigen dürfte. Setzt man den Strohertrag bei Grunddüngung (rund 46 dz) — 100, so bedeutet der Mehrertrag von rund 14 dz Stroh durch 40 kg N ein Mehr von 29%, der Mehrertrag von rund 20 dz Stroh durch 60 kg N ein Mehr von 43%. Geht man umgekehrt vom Strohertrag bei Volldüngung = 100 aus, so entfällt auf die Stickstoffüngung mit 40 kg N ein Strohertragsanteil von 23%, auf die Stickstoffdüngung mit 60 kg N ein Ertragsanteil von 30%. In entsprechender Höhe ist, unserer Voraussetzung gemäß, der Arbeitsanteil bzw. die Mehrarbeit zu veranschlagen. Es fragt sich nun, ob der Strohmehrertrag die durch die N-Düngung verursachten Erntemehrkosten deckt.

Bei der nachfolgenden Kostenrechnung beschränken wir uns auf die Kosten, die durch die Höhe der Stroherträge wesentlich beeinflußt werden.

Dabei setzen wir ein für das Aufstellen der Garben, das Einbringen der Frucht (Aufladen, Abfahren, Abladen, Einbansen) und das Dreschen je ha insgesamt 67,— RM. (Kostenfall I), unter ungünstigen Verhältnissen erhöhen sich die Kosten u. U. durch die Notwendigkeit des Handbindens und des Umstellens der Garben. Wir berechnen dafür 15,— RM. Die Gesamtkosten belaufen sich dann auf 82,— RM. (Kostenfall II).

Setzt man den Kostenanteil, der auf die N-Düngung entfällt,

bei einer Gabe von 40 kg/ha N mit 26,0% an ($\frac{29\% + 23\%}{2}$ s. oben),

bei einer Gabe von 60 kg/ha N mit 36,5% an ($\frac{43\% + 30\%}{2}$ s. oben),

so ergibt sich durch die Stickstoffdüngung folgende Belastung:

Kosten

	in Fall I	in Fall II	
N-Düngung 40 kg/ha	17,40 RM.	21,30 RM.	(26% v. 67 bzw. 82 RM.),
N-Düngung 60 kg/ha	24,40 RM.	29,90 RM.	(36,5% v. 67 bzw. 82 RM.).

Berechnet man den Strohverwertungspreis mit 2,— RM. je dz, so beträgt der Erlös

durch 40 kg N je ha 28,— RM. (14,— dz × 2,— RM.),
durch 60 kg N je ha 40,— RM. (20,— dz × 2,— RM.).

Übersicht 4.

Anbaugebiete	Die Zahl der Versuche mit N-Gaben von kg/ha				Die Differenzen der Kornmehrerträge (dz) aus der Gegenuberstellung aller Versuche mit N-Gaben von kg/ha			
	30	40	50	60	30 u. 40	40 u. 50	50 u. 60	40 u. 60
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ost	8	25	—	9	1,1	—	—	1,3
Nord	39	75	67	44	2,4	1,8	1,4	3,2
Nordwest	24	66	36	36	1,9	1,6	1,0	2,6
Neumark-Pyritz . .	–	30	–	13	—	—	—	1,6
Schlesien	75	102	33	18	1,6	1,0	0,9	2,3
Sachsen.	—	34	23	25	—	0,8	– 0,1	0,7
Oberrhein	11	31	21	25	2,2	1,7	0,2	1,9
Mitteld. Hohengeb.	25	89	25	18	1,2	1,1	0,7	1,8
Schwäb. fränk. Geb.	25	87	9	26	2,0	0,9	0,3	1,2
Südbayern	18	83	—	50	1,2	—	—	3,4
Reichsdurchschnitt (gew. Mittel . .	225	622	214	264	1,9	1,6	0,8	2,4

Im Durchschnitt der Versuche wurde also die Erntemehrarbeit auch bei Berechnung hoher Kosten durch die Strohmehrerträge sehr reichlich aufgewogen. Selbst wenn der Doppelzentner Stroh nur mit 1,50 RM. berechnet werden könnte, würde die Rechnung noch aufgehen In Gebieten, in denen die Strohmehrerträge vom Durchschnitt abweichen, ist auch die Mehrarbeit entsprechend größer oder kleiner; die Kosten der Mehrarbeit werden also unter den genannten Voraussetzungen in jedem Falle gedeckt.

Nachdem wir den Faktor Erntemehrarbeit aus unserer Wirtschaftlichkeitsrechnung isoliert haben, ist die übrige Rechnung einfach. Wir setzen dabei ein
als Preis fur 1 kg N (einschl. Kleinhandelszuschlag (10%) und Verzinsung (5%) 58 Rpf.
für das Abfahren und das Ausstreuen je kg N 6 „
Gesamtkosten der Düngung: 64 Rpf.

Legt man für den Weizen einen Verwertungspreis von 20, RM. je dz zugrunde, so sind die reinen Düngungskosten bereits bei einer kg-N-Leistung von 3,2 kg Weizen gedeckt.

Wir greifen nun wieder auf die Versuchsergebnisse zurück, um zu prüfen, bis zu welcher Höhe die Stickstoffdungung zu Weizen wirtschaftlichen Erfolg verspricht. Nach Ausweis der Übersicht 2 liegen zwar die kg-N-Leistungen aller Gaben in allen Gebieten weit über der wirtschaftlichen Mindestgrenze, aber die absolute Höhe der kg-N-Leistungen besagt ja nur wenig uber die Zweckmäßigkeit der höheren N-Gaben, wenigstens in den Fällen, in denen das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs bereits deutlich wirksam ist. Es kann ja z. B. eine Stickstoffgabe von 60 kg als Ganzes betrachtet auf Grund der guten Leistung der ersten 50 oder 40 kg N noch wirtschaftlich erscheinen, obschon die Leistung der letzten 10 oder 20 kg N die Kosten nicht mehr deckt. Exakt läßt sich die Frage nach der zweckmäßigen Höhe der Düngergaben

Die kg-N-Leistung der Gabendifferenzen (10 bzw. 20 kg N) aus der Gegenüberstellung aller Versuche mit N-Gaben von kg/ha				Die Zahl der Steigerungsversuche mit der N-Staffelung kg/ha		Die kg-N-Leistung der letzten 10 kg N | 20 kg N der 40er Gabe | 60er Gabe in den Steigerungsversuch. mit der N-Staffelung kg/ha	
30 u. 40	40 u. 50	50 u. 60	40 u. 60	30/40	40/60	30/40	40/60
9	10	11	12	13	14	15	16
11	—	—	6,5	—	7	—	10,5
24	18	14	16,0	25	29	15	17,0
19	16	10	13,0	14	—	19	—
—	—	—	8,0	—	—	—	—
16	10	9	11,5	58	13	17	12,5
—	8	—1	3,5	—	16	—	8,0
22	17	2	9,5	7	9	23	7,5
10	11	7	9,0	12	10	14	13,5
20	9	3	6,0	7	10	16	8,0
12	—	—	17,0	—	17	—	15,0
19	16	8	12,0	123	111	17	12,5

natürlich nur durch Versuche mit steigenden Gaben klären; jedoch reicht hierfür die Zahl unserer vorhandenen Steigerungsversuche noch nicht aus. Wir sind daher gezwungen, falls wir nicht auf die Behandlung der angeschnittenen Fragen verzichten wollen, neben den Versuchen mit steigenden Gaben die Versuche mit nur einer Gabe (Mangelversuche, Formenversuche u. a.) mit heranzuziehen und, nach der Höhe der N-Gabe gruppiert, einander gegenüberzustellen. Die Vergleichbarkeit solcher Versuchsgruppen ist natürlich beschrankt. Sie ist am ersten uber die Mehrerträge möglich. Denn die Unterschiede im Grundertrag, die sich auch dann, wenn in den einzelnen Gruppen eine größere Zahl von Versuchen vorhanden ist, immer wieder zeigen und den direkten Vergleich der Volldüngungserträge unmöglich machen, üben auf die Mehrerträge keinen unmittelbaren und innerhalb des gleichen Gebietes auch wohl keinen größeren mittelbaren Einfluß aus. Es hat also immerhin eine Berechtigung, der Frage nach der zweckmäßigen Höhe der Stickstoffdüngung über die Mehrerträge der vorliegenden Versuchsgruppen nachzugehen. Wir haben daher die Mehrertragsdifferenzen der Versuchsgruppen mit verschieden hohen N-Gaben gebildet und die zugehörigen kg-N-Leistungen berechnet.

Einen Überblick darüber gibt Übersicht 4. Natürlich sind wir uns der Mängel eines derartigen Verfahrens zur Feststellung der zweckmäßigen Höhe der Düngergaben bewußt, glauben aber auf diesem Wege wenigstens brauchbare Anhaltspunkte zu gewinnen.

Die reichsdurchschnittliche kg-N-Leistung beträgt nach Ausweis der Übersicht 4 für die Gabendifferenz (10 kg)

der Versuche mit 30 und 40 kg/ha N = 19 kg Korn (vgl. Spalte 9),
„ „ „ 40 „ 50 kg/ha N = 16 kg „ („ „ 10),
„ „ „ 50 „ 60 kg/ha N = 8 kg „ („ „ 11).

Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs tritt zwar deutlich in Erscheinung, doch ist im Reichsdurchschnitt auch die Gabe von 60 kg N noch wirtschaftlich, denn nach unseren früheren Feststellungen liegt die Grenze der Wirtschaftlichkeit bei einer kg-N-Leistung von 3,2 kg. In den verschiedenen Anbaugebieten sind die Verhältnisse z. T. sehr verschieden. Über die Wirtschaftlichkeit der 40er Gabe dürften in keinem Gebiet ernsthafte Zweifel bestehen, wie ein Blick auf Spalte 9 der Übersicht 4 erkennen läßt. Auch die Wirtschaftlichkeit der 50er Gabe besitzt in allen Gebieten große Wahrscheinlichkeit. Dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs entsprechend sind zwar die kg-N-Leistungen der Differenz der 40- und 50-kg-Gaben (Spalte 10) — sofern dafür Zahlen vorhanden sind — fast überall geringer als bei der Differenz der 30- und 40-kg-Gaben (Spalte 9). Die errechneten kg-N-Leistungen in Spalte 10 betragen aber mindestens das 2fache, häufig sogar das 3- bis 4fache der erforderlichen Mindestleistung. Um auch für die Gebiete Ost, Neumark-Pyritz und Südbayern, in denen nur wenige Versuche mit einer Gabe von 50 kg N vorliegen, Anhaltspunkte über die Wirtschaftlichkeit einer Stickstoffdüngung in dieser Höhe zu erhalten, haben wir in Spalte 12 der Übersicht 4 die kg-N-Leistung der 20-kg-Differenz der 40- und 60-kg-Gaben berechnet. Da in den fraglichen Gebieten sogar die kg-N-Leistung dieser Differenz die wirtschaftliche Mindestgrenze überschreitet, wird dies für die Differenz von 40- und 50-kg-Gaben erst recht zutreffen, und somit dürfte es berechtigt sein, die Wirtschaftlichkeit der 50er Gabe unter durchschnittlichen Verhältnissen in allen Gebieten als gegeben zu betrachten. Die Wirtschaftlichkeit der 60er Gabe ist nach der kg-N-Leistung der Differenz der 50- und 60er Gaben (s. Spalte 11) in einigen Gebieten (Nord, Nordwest, Schlesien und mitteldeutsches Höhengebiet) ebenfalls recht wahrscheinlich, in anderen (Sachsen, Oberrhein, schwäb.-fränk. Gebiet) dagegen anscheinend nicht mehr gegeben. Nach der kg-N-Leistung der Differenz der 40- und 60-kg-Gaben ist sie für die Gebiete Ost und Neumark-Pyritz fraglich, für Südbayern sehr wahrscheinlich.

Zum Vergleich mit diesen aus der Gegenüberstellung aller Versuche berechneten Leistungen der Differenzen der Gaben von 30 u. 40 und 40 u. 60 kg N (Übersicht 4, Spalten 9 und 12) sind in den Spalten 15 und 16 der Übersicht 4 die entsprechenden N-Leistungen aus den vorhandenen Steigerungsversuchen mit 30/40 und 40/60 kg N mitgeteilt. Die aus den Steigerungsversuchen hervorgehenden kg-N-Leistungen stimmen mit den vorher abgeleiteten zwar nicht in allen Fällen überein, widersprechen aber zum mindesten nicht unseren obigen Feststellungen über die Wirtschaftlichkeit der Stickstoffdüngung.

Wir fassen das Ergebnis unserer Untersuchungen über die mäßige Höhe der Stickstoffdüngung noch einmal kurz zusammen;

dabei bleibt zu berücksichtigen, daß die Versuche z. T. bis zum Jahre 1925 zurückgehen, daß also die wichtigsten Fortschritte der Nachkriegszüchtung, die nicht zuletzt auf vorteilhafte Verwertung hoher Nährstoffgaben abzielten, sich nur zum Teil auswirken konnten. Wenngleich die Unterlagen für ein abschließendes Urteil teilweise noch keineswegs ausreichen, so kann es doch kaum zweifelhaft sein, daß Gaben von 40 kg N je ha unter den durchschnittlichen Verhältnissen der Praxis in allen Gebieten mit Erfolg regelmäßig eingesetzt werden können und daß eine Zulage von weiteren 10 kg N je ha mit großer Wahrscheinlichkeit überall wirtschaftlich ist. In einigen Gebieten wird selbst mit einer durchschnittlichen Gabe von 60 kg N die Grenze wirtschaftlicher Stickstoffanwendung noch nicht erreicht, und tatsächlich finden sich in diesen Gebieten ja auch Betriebe, die bis zu 80 kg ha N anwenden.

Aufgabe weiterer Versuche muß es sein, die Grenze wirtschaftlicher Stickstoffanwendung möglichst überall genau zu ermitteln, damit die vorhandenen Erzeugungsmöglichkeiten weitgehend ausgenutzt werden können.

Zum Abschluß der allgemeinen Betrachtungen soll an Hand einer Tabelle eine zahlenmäßige Vorstellung vom wirtschaftlichen Erfolg der Stickstoffdüngung in den vorliegenden Versuchen gegeben werden. Den Überschüssen in Übersicht 5 sind die oben zusammengestellten Düngungskosten und ein Weizenpreis von 20 RM. je dz zugrunde gelegt.

Übersicht 5.

Anbaugebiete	Geldwert der Mehrerträge je ha in RM. durch N-Gaben von				Überschüsse (Geldwert der Mehrerträge nach Abzug der Unkosten) in RM. je ha durch N-Gaben von			
	30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha	30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ost	132	148	—	174	112,2	121,6	—	134,4
Nord	112	160	196	224	92,2	133,6	163	184,4
Nordwest	106	144	176	196	86,2	117,6	143	156,4
Neumark-Pyritz	—	124	—	156	—	97,6	—	116,4
Schlesien	88	120	134	166	68,2	93,6	101	126,4
Sachsen	—	128	144	142	—	101,6	111	102,4
Oberrhein	104	148	192	186	84,2	121,6	159	146,4
Mitteld. Höhengeb.	124	144	160	188	104,2	117,6	127	148,4
Schwäb.-fränk. Geb.	94	134	152	158	74,2	107,6	119	118,4
Südbayern	106	130	—	198	86,2	103,6	—	158,4
Reichsdurchschnitt	102	138	170	186	82,2	111,6	137	146,4

Nachdem wir so einen Überblick über die Stickstoffleistung unter durchschnittlichen Verhältnissen gewonnen haben, wollen wir im folgenden den Einfluß der wichtigsten Vorfrüchte, der hauptsächlichsten Bodenarten, guter und schlechter Weizenjahre und des „Lagerns" auf die Leistung des Stickstoffs zu beleuchten versuchen.

Übersicht 6.

Anbaugebiete	Zahl der Versuche nach Vorfrucht			Kornerträge in dz/ha bei Grunddüngung (PK) im Durchschnitt			
				d. Vers. mit Vorfrucht			aller Versuche
	Hackfrucht	Klee u. andere Leg.	Getreide	Hackfrucht	Klee u andere Leg.	Getreide	
	1	2	3	4	5	6	7
Ost	—	18	7	--	23,7	19,8	22,6
Nord	19	23	23	21,1	21,9	23,6	22,3
Nordwest	59	7	6	25,4	30,2	19,2	25,3
Neumark-Pyritz . .	9	10	8	21,0	20,4	22,2	21,1
Schlesien	62	8	23	24,3	23,2	21,4	23,4
Sachsen	20	4	9	25,1	22,0	23,1	24,2
Oberrhein	22	—	9	23,8	--	24,5	24,0
Mitteld. Höhengeb. .	56	16	8	26,2	24,1	22,8	25,5
Schwäb.-fränk. Geb.	65	16	5	19,5	20,6	18,9	19,6
Südbayern	45	26	12	22,1	24,0	22,0	22,7
Reichsdurchschnitt	357	128	110	23,4	23,1	22,1	23,1

Der Vorfrucht wird im Getreidebau namentlich auch im Hinblick auf die zusätzliche Mineraldüngung aus verschiedenen Gründen eine besondere Bedeutung beigemessen. Mit Bezug auf die zu verabreichende Stickstoffdüngung spielen dabei hauptsächlich folgende Erwägungen eine Rolle: Hackfruchte werden durchweg mit Stallmist, dazu oft mit größeren Mengen Handelsdüngerstickstoff gedüngt; von beiden, zum mindesten aber vom Stallmist, erwartet man im folgenden Jahr eine merkliche Nachwirkung, zumal Hackfrüchte den Acker meist in guter Gare zurücklassen. Getreide erhält im Gegensatz zur Hackfrucht meist keinen Stallmist und meist auch viel bescheidenere Gaben Handelsdüngerstickstoff. Leguminosen endlich sammeln nicht nur den von ihnen benötigten Stickstoff selbst, sie lassen auch mit ansehnlichen Wurzelrückständen einen beachtlichen Teil davon im Boden zurück. Solchen Erwägungen entsprechend pflegt nun die N-Düngung des nachfolgenden Getreides mehr oder weniger abgestuft zu werden. Zweifellos interessiert daher ein Vergleich der Stickstoffleistung nach den genannten Vorfruchten. Der Umfang unseres Versuchsmaterials gestattet zunächst nur einen Vergleich bei der Gabe von 40 kg/ha N, und leider ist auch dabei eine Einwirkung des Zufalls nicht ausgeschlossen. Die Verteilung der Versuche auf die drei Vorfruchtgruppen sowie die Ergebnisse der Zusammenfassung nach Vorfrüchten gehen aus Übersicht 6 hervor.

Verweilen wir zunächst kurz bei den Grunderträgen (Sp. 4—7). Der Grundertrag liegt im Reichsdurchschnitt der Versuche mit Getreidevorfrucht etwas unter, im Reichsdurchschnitt der Versuche mit Hackfrucht- und Leguminosenvorfrucht um den Durchschnitt aus allen Versuchen. Für den Reichsdurchschnitt deckt sich das Ergebnis also mit der allgemeinen Anschauung, nach der Getreide als ungünstigste Vorfrucht angesprochen wird. Allerdings

Kornerträge in dz/ha bei Volldüngung im Durchschnitt				kg-N-Leistungen im Durchschnitt			
der Versuche mit Vorfrucht			aller Versuche	der Versuche mit Vorfrucht			aller Versuche
Hackfrucht	Klee und andere Leg.	Getreide		Hackfrucht	Klee und andere Leg.	Getreide	
8	9	10	11	12	13	14	15
—	31,6	25,7	30,0	—	19,7	14,7	18,3
31,4	29,7	31,1	30,7	25,9	19,5	18,6	21,0
33,9	36,6	28,3	33,7	21,2	15,9	22,7	20,8
28,0	25,8	27,3	27,0	17,3	13,6	12,5	14,5
30,9	28,5	26,7	29,6	16,4	13,7	13,1	15,3
32,0	27,0	28,3	30,4	17,3	12,4	13,1	15,6
30,9	—	32,7	31,4	17,6	—	20,5	18,5
33,4	31,3	31,8	32,8	17,9	17,9	22,5	18,3
26,4	26,9	23.1	26,3	17,3	15,8	10,6	16,7
29,7	28,8	28,4	29,2	18,8	11,9	16,0	16,2
30,8	29,5	28,6	30,1	18,5	16,1	16,2	17,6

bestätigen auch in diesem Falle — sofern man nicht Zufälle annehmen will — Ausnahmen die Regel, denn in 3 von 10 Gebieten (Nord, Neumark-Pyritz und Oberrhein) liegt der Grundertrag nach Getreide mehr oder weniger deutlich an der Spitze; bemerkenswerterweise sind es Gebiete, in denen Weizen verhältnismäßig oft nach Getreide gebaut wird, was auf entsprechend gute Erfahrungen in dieser Hinsicht schließen läßt.

Betrachten wir nun die kg-N-Leistungen; sie liegen im Reichsdurchschnitt nach Vorfrucht Hackfrucht mit 18,5 kg am höchsten und leicht über dem Durchschnitt aller Versuche, nach Vorfrucht Leguminosen und Getreide mit 16,1 bzw. 16,2 kg gleich und schon deutlicher unter Mittel (vgl. d. Sp. 12—15). Das Ergebnis mag zunächst überraschen. Bei Berücksichtigung des N-Vorrats, den die verschiedenen Vorfrüchte vermutlich im Boden zurücklassen, hätte man nach Getreide die höchste, nach Hackfrüchten eine mittlere, nach Leguminosen die geringste kg-N-Leistung erwarten können. Wenn nun der Stickstoff in den Versuchen nach Hackfrucht besser verwertet wird als in den Versuchen nach Getreide, so wird man dafür wohl nicht zu Unrecht den verschiedenen Garezustand, in den die genannten beiden Vorfrüchte den Boden versetzen, verantwortlich machen dürfen. Die bessere Gare nach Hackfrucht hätte also in Auswirkung des Gesetzes vom Optimum die vorteilhaftere Verwertung der gleichen oder, größere N-Rückstände nach Hackfrucht angenommen, sogar einer größeren Stickstoffmenge ermöglicht als nach Getreide. Wie im Reichsdurchschnitt, so ergaben sich auch in den einzelnen Gebieten nach Hackfrucht zumeist höhere kg-N-Leistungen als nach Getreide. Ob die drei Ausnahmen auf Zufall beruhen oder nicht, muß vorläufig dahingestellt bleiben.

Worauf es zurückzuführen ist, daß der Handelsdüngerstickstoff

Übersicht 7.

Anbaugebiete	Zahl der Versuche auf			Kornerträge in dz/ha bei Grunddüngung (PK) im Durchschnitt			
				der Versuche auf			aller Versuche
	schwer. Boden	mittl. Boden	leicht. Boden	schwer. Boden	mittl. Boden	leicht. Boden	
	1	2	3	4	5	6	7
Ost	3	18	3	16,5	22,9	17,5	21,5
Nord	17	37	18	24,3	23,4	18,7	22,5
Nordwest	41	17	15	24,8	28,8	23,8	25,5
Neumark-Pyritz . .	3	15	11	21,3	22,7	17,8	20,7
Schlesien	29	43	22	23,6	23,2	24,2	23,5
Sachsen	11	13	9	28,9	22,6	23,9	25,0
Oberrhein	18	9	4	24,7	21,4	22,4	23,4
Mitteld. Höhengeb.	37	22	9	25,0	25,2	25,2	25,1
Schwäb. fränk. Geb.	33	38	14	20,2	19,8	17,6	19,6
Südbayern . . .	15	62	3	24,6	22,6	20,2	22,9
Reichsdurchschnitt	207	274	108	23,9	23,0	21,4	23,0

nach Leguminosen — hauptsächlich Klee — ebensogut verwertet wurde wie nach Getreidefrucht, läßt sich schwer entscheiden. Vielleicht ist von dem in den Leguminosenwurzeln gebundenen Stickstoff in der entscheidenden Bedarfszeit ein zu geringer Teil verfügbar. Wenn in den einzelnen Gebieten eine größere Zahl von Versuchen mit Vorfrucht Getreide und Leguminosen zur Verfügung stände, wäre es u. U. recht aufschlußreich, die relativen Erträge und Leistungen der Gebiete mit einjähriger Kleenutzung einerseits, mit mehrjähriger Kleenutzung und Graseinsaat andererseits einander gegenüberzustellen und zu vergleichen.

Beachten wir zum Schluß die absolute Höhe der kg-N-Leistungen nach den verschiedenen Vorfruchten. Es zeigt sich, daß die kg-N-Leistungen in allen Gebieten nach jeder Vorfrucht mindestens das 3fache, meist aber das 4—7fache des wirtschaftlichen Mindestwertes erreichen.

Eine offene Frage bleibt es zunachst, ob sich die Grenze wirtschaftlicher Stickstoffanwendung unter dem Einfluß der Vorfrucht wesentlich verschiebt. Um wenigstens einen Anhaltspunkt zu ge-

Vorfrucht	Zahl der Versuche mit N-Gaben von		Mehrerträge dz/ha in den Versuchen mit N-Gaben von		kg-N-Leistungen in den Versuchen mit N-Gaben von		kg-N-Leistung der Gabendifferenz (20 kg N)
	40kg/ha	60kg/ha	40kg/ha	60kg/ha	40kg/ha	60kg/ha	
Hackfrucht	357	139	7,4	9,9	18,5	16,5	12,5
Leguminosen	128	53	6,4	8,8	16,1	14,7	11,5
Getreide	110	55	6,5	8,8	16,2	14,7	11,5
Durchschnitt der drei Gruppen	595	247	7,0	9,4	17,6	15,8	12,0

Kornerträge in dz/ha bei Volldüngung im Durchschnitt				kg-N-Leistungen im Durchschnitt			
der Versuche auf			aller Versuche	der Versuche auf			aller Versuche
schwer. Boden	mittl. Boden	leicht. Boden		schwer. Boden	mittl. Boden	leicht. Boden	
8	9	10	11	12	13	14	15
20,9	31,0	24,5	29,0	11,1	20,2	17,4	18,7
33,9	31,3	25,7	30,5	24,0	19,5	17,6	20,1
34,1	35,4	32,2	34,0	23,3	16,5	20,9	21,2
24,6	28,7	24,7	26,8	8,3	14,9	17,4	15,2
28,7	29,6	30,5	29,5	12,8	16,1	15,7	15,0
36,6	29,6	28,6	31,7	19,4	17,7	11,8	16,6
31,5	29,8	28,5	30,6	16,8	21,1	15,2	17,8
32,6	32,8	32,7	32,7	18,9	19,1	18,9	19,0
26,4	27,4	23,2	26,3	15,4	18,9	14,1	16,8
30,0	29,3	24,4	29,3	13,6	16,7	10,6	15,9
31,1	30,1	28,0	30,1	18,0	17,8	16,5	17,6

winnen, berechneten wir fur die Versuche mit 60 kg N — die zweitzahlreichste Versuchsgruppe — die reichsdurchschnittlichen Mehrerträge und kg-N-Leistungen und stellten sie mit den Ergebnissen der Versuche mit 40 kg N in Vergleich. Dabei ergaben sich die in der folgenden Übersicht zusammengestellten Werte.

Das Verhältnis der Mehrerträge und kg-N-Leistungen nach den verschiedenen Vorfruchten deutet darauf hin, daß eine wesentliche Verschiebung der Wirtschaftlichkeitsgrenze durch die Vorfrucht im allgemeinen nicht zu erwarten ist.

Untersuchen wir nun — wiederum unter Beschränkung auf die Versuche mit 40 kg N —, welchen Einfluß die Bodenart auf die Stickstoffverwertung ausubt. Zu diesem Zweck wurden in je einer Gruppe zusammengefaßt die Versuche auf humosem und lehmigem Sand (leichter Boden), die Versuche auf sandigem und humosem Lehm (Mittelboden) und die auf Lehm und Ton (schwerer Boden). Die Verteilung der Versuche auf die genannten Bodenarten und die Ergebnisse der Zusammenfassung sind aus Übersicht 7 ersichtlich. Auch hier muß vermerkt werden, daß die Zahl der Versuche bald bei dieser, bald bei jener Bodenart zu klein ist, daß also auch hier der Zufall mitspielen kann; trotzdem möchten wir die Aufteilung nicht für ganz wertlos halten.

Der im Reichsdurchschnitt auf schwerem Boden erzielte Grundertrag liegt um weniges (0,9 dz) über, der auf leichtem Boden erzielte Grundertrag etwas deutlicher (1,6 dz) unter dem Durchschnitt aus allen Versuchen, während die Versuche auf Mittelboden gerade den Gesamtdurchschnitt erreichen (vgl. d. Sp. 4—7). Die Versuchsergebnisse spiegeln also im Durchschnitt durchaus die allgemeinen Erfahrungen über die Weizenertragsfähigkeit der verschiedenen Bodenarten wider. In den einzelnen Gebieten ist das

Übersicht 8.

Anbaugebiete	Gute Weizenjahre				
	Anzahl der		Erträge in dz/ha bei		kg-N-Leistungen
	Prüfungsjahre	Versuche	Grunddüngung (PK)	Volldungung mit 40 kg/ha N	
	1	2	3	4	5
Ost	3	6	29,8	35,6	14,5
Nord	6	38	27,3	35,4	20,2
Nordwest	4	15	29,0	34,5	13,8
Neumark-Pyritz . . .	3	7	25,5	30,7	12,9
Schlesien	2	29	27,3	34,2	17,2
Sachsen	4	11	28,4	33,2	12,1
Oberrhein	3	9	27,5	34,3	17,1
Mitteldt. Höhengebiet	4	20	29,5	36,6	17,7
Schwäb.-fränk. Gebiet	6	28	23,3	31,0	19,4
Südbayern	4	29	25,8	32,1	15,8
Reichsdurchschnitt (gew. Mittel) . . .		192	26,8	33,7	17,2

Verhältnis der Grunderträge — wie bei der z. T. sehr geringen Zahl von Versuchen nicht anders erwartet werden kann — nicht ganz gleichartig. Am häufigsten brachte der schwere Boden, mehrfach aber auch der mittlere Boden den höchsten Grundertrag; der leichte Boden lag nur einmal (in Schlesien) mit geringem Vorsprung an der Spitze, aber auch in diesem einen Falle trotz der größeren Zahl von Versuchen wohl nur zufällig. Im Reichsdurchschnitt wurde die Einheit Stickstoff vom Weizen auf schwerem und mittlerem Boden gleich gut verwertet (kg-N-Leistung = 18,0 und 17,8), auf leichtem Boden etwas schlechter (kg-N-Leistung = 16,5). An und für sich hätte man auf dem leichten Boden, weil man in ihm den geringsten Stickstoffvorrat annehmen darf, die größte Produktivität des Handelsdüngerstickstoffs erwarten können. Wenn die Verhältnisse tatsächlich umgekehrt liegen, so wird dafür vor allem der ungünstigere Wasserhaushalt des leichten Bodens verantwortlich zu machen sein. Wie im Reichsdurchschnitt, so bleibt die kg-N-Leistung auch in der Mehrzahl der Anbaugebiete auf dem leichten Boden hinter der kg-N-Leistung auf schwerem und mittlerem Boden zurück; nur einmal (in Neumark-Pyritz) ist die kg-N-Leistung ohne erkennbaren Grund auf leichtem Boden am höchsten. Vergleicht man die kg-N-Leistung der mittleren und schweren Böden miteinander, so ergibt sich mehrfach auf schwerem, öfter aber auf dem mittleren Boden die höhere kg-N-Leistung. Warum die Verhältnisse in dem einen Falle so, im anderen Falle umgekehrt liegen, ließ sich nicht ergründen. Beim Vergleich von Gebiet zu Gebiet zeigte die Stickstoffverwertung beim mittleren Boden die größte Ausgeglichenheit, stärker schwankend ist sie beim leichten und besonders beim schweren Boden, und zwar auch dann, wenn die Gebiete mit ganz wenigen Versuchen unberücksichtigt bleiben. Die absolute Höhe der kg-N-Leistung beträgt — abgesehen von Neumark-Pyritz,

Schlechte Weizenjahre					kg-N-Leistungen im Durchschnitt aller Jahre
Anzahl der		Erträge in dz/ha bei		kg-N-Leistungen	
Prüfungsjahre	Versuche	Grunddüngung (PK)	Volldüngung mit 40 kg/ha N		
6	7	8	9	10	11
3	8	17,0	23,7	16,8	18,3
5	30	17,4	25,5	20,2	20,0
3	18	22,1	31,5	23,5	18,1
2	5	16,9	22,3	13,5	15,3
6	37	20,3	25,8	13,6	15,1
4	8	18,8	25,1	15,9	16,1
6	12	20,6	30,1	23,8	18,5
4	28	22,1	29,5	15,8	18,1
3	24	16,2	21,3	12,9	16,7
5	27	19,4	25,4	15,0	16,2
	107	19,4	26,3	17,1	17,2

schwerer Boden, 3 Versuche — mindestens das 3fache, meist das 4—6fache der Leistung, die zur Unkostendeckung der Düngung erforderlich ist. Ob die im allgemeinen Teil aufgezeigte durchschnittliche Grenze wirtschaftlichen Düngereinsatzes durch die Bodenart irgendwie verschoben wird, läßt sich mit dem vorhandenen Material noch nicht entscheiden. Um das moglichste zur Klärung der Frage zu tun, verfuhren wir ganz wie bei der analogen Frage bei den Vorfruchten. Die Berechnungen ergaben folgende Werte.

Bodenart	Zahl der Versuche mit N-Gaben von		Mehrerträge dz/ha in den Versuchen mit N-Gaben von		kg-N-Leistungen in den Versuchen mit N-Gaben von		kg-N-Leistung der Gabendifferenz (20 kg N)
	40kg/ha	60kg/ha	40kg/ha	60kg/ha	40kg/ha	60kg/ha	
Schwerer Boden	238	103	7,2	9,3	18,1	15,7	10,5
Mittlerer Boden	243	114	7,1	9,7	17,7	16,2	12,0
Leichter Boden	108	40	6,6	8,2	16,5	13,7	8,0
Durchschnitt der drei Gruppen	589	257	7,0	9,2	17,6	15,5	11,0

Nach diesen Ergebnissen gerät also die Stickstoffdüngung auf leichtem Boden offenbar am ersten an die Grenze der Wirtschaftlichkeit; der Durchschnitt liegt allerdings auch bei der Gabendifferenz 40 : 60 kg N noch darüber.

Um einen etwaigen Einfluß der Bodenreaktion auf die Verwertung des Stickstoffs zu ermitteln, haben wir die Versuche nach der Reaktion der Böden geordnet. Es wurden zusammengefaßt Böden mit einem p_H-Wert:

Übersicht 9.

	Versuchsgruppe	Anzahl der Versuche					Prozentanteil an d. Gesamtzahl				
		mit N-Gaben von				insgesamt	aller Versuche	der Versuche mit N-Gaben von			
		30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha			30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Lager nur bei Volldüngung	15	47	28	34	124	9,3	6,7	7,6	13,1	12,9
2.	Lager bei Grund- und Volldüngung . . .	12	61	13	18	104	7,8	5,3	9,8	6,1	6,8
3.	Versuche mit Lager insgesamt	27	108	41	52	228	17,2	12,0	17,4	19,2	19,7
4.	Versuche mit und ohne Lager insgesamt . .	225	622	214	264	1335	100	100	100	100	100
		Kornerträge bei Grunddüngung (PK) dz/ha					kg Leistungen				
		in den Versuchen mit N-Gaben von				im Durchschnitt dieser Versuche		in den Versuchen mit N-Gaben von			
		30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha			30 kg/ha	40 kg/ha	50 kg/ha	60 kg/ha
5.	Lager nur bei Volldüngung	23,3	23,0	23,5	25,3	23,8		14,5	16,4	12,3	14,4
6.	Lager bei Grund- und Volldüngung . . .	23,5	23,6	26,2	24,1	24,0		10,3	12,7	13,8	10,1
7.	Versuche mit Lager insgesamt	23,4	23,4	24,2	24,9	23,9		12,7	14,2	12,8	11,0
8.	Versuche mit und ohne Lager insgesamt . .	24,7	23,2	24,3	23,8	23,8		16,9	17,2	17,0	15,5

bis zu 5,2 (sauer) zur Gruppe I,
bis zu 6,5 (schwach sauer) zur Gruppe II,
über 6,5 (neutral und alkalisch) zur Gruppe III.

Den bekannten Reaktionsansprüchen des Weizens entsprechend waren, wie schon eingangs erwähnt, auf saurem Boden nur ganz wenig Versuche angelegt, so daß die Gruppe I aus dem Vergleich ausscheidet. Die N-Verwertung in Gruppe II und Gruppe III war praktisch gleich. Auch bei einer Unterteilung der Reaktionsgruppen nach Bodenarten ergaben sich keine Unterschiede. Es erübrigt sich daher, das Zahlenmaterial im einzelnen mitzuteilen.

Der Frage, was der Stickstoff in guten und schlechten Weizenjahren leistet, versuchten wir ebenfalls nachzugehen, wiederum an Hand der Versuche mit 40 kg/ha N. Ob ein Jahr als gut oder schlecht anzusprechen sei, wurde nach dem Durchschnittsertrag der Versuche des betreffenden Jahres entschieden. Das Ergebnis der Zusammenstellung ist in Übersicht 8 wiedergegeben.

Da aus manchen Jahren und Gebieten nur wenige Versuche vorliegen, so sind die Ergebnisse entsprechend unsicher. Ob auf die knappe Zahl der Versuche auch die geringe Einheitlichkeit der Ergebnisse zurückzuführen ist, muß zunächst dahingestellt bleiben. Jedenfalls liegt die kg-N-Leistung, ohne daß die Gründe erkennbar wären, in den verschiedenen Gebieten teils in guten, teils in schlechten Weizenjahren höher als im Durchschnitt aller Jahre (vgl. d. Sp. 5, 10 u. 11). Es ist daher müßig, auf die Ergebnisse näher einzugehen; wir begnügen uns mit der Feststellung, daß auch bei dieser Art der Gruppierung der Versuche die kg-N-Leistung immer mehr als den 3fachen Wert der zur Wirtschaftlichkeit der Düngung erforderlichen Mindestleistung erreichte.

Zum Schluß unserer Untersuchungen wollen wir noch auf zwei Fragen eingehen, die die Praxis besonders bewegen, nämlich

1. in welchem Umfange die Stickstoffdüngung das Lagern des Weizens begünstigt hat und
2. in welchem Maße das Lagern den Erfolg der Stickstoffdüngung beeinträchtigte.

Zur Beantwortung dieser Fragen suchten wir zunächst aus dem gesamten Versuchsmaterial alle Versuche mit Lager heraus. Dann stellten wir zusammen:

a) die Versuche, in denen nur die mit Stickstoff gedüngten Teilstücke lagerten,
b) die Versuche, in denen sowohl die Grunddüngungs- wie die Volldüngungsteilstücke Lager aufwiesen.

Trotz des nicht gerade geringen Gesamtmaterials ist die Zahl der Versuche fur die nun zu besprechenden Untersuchungen bescheiden zu nennen. Wir werden also nicht erwarten können, daß sich in den Ergebnissen alle zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten mit vollster Klarheit widerspiegeln. Da wir aber glauben, daß sich die Ergebnisse auch bei größerem Material nicht grundsätzlich ändern und da bisher u. W. noch keinerlei Zahlenmaterial dieser Art vorliegt, teilen wir die Ergebnisse unserer Zusammenstellung dennoch ausführlich mit.

Nach Ausweis der Zeile 3, Spalte 5, trat nennenswertes Lager in 228 von insgesamt 1325 Versuchen [2]) auf, der Anteil beträgt also im Durchschnitt rund 17%; bei niedriger N-Gabe ist der Anteil erfahrungsgemäß geringer als bei hoher N-Gabe (vgl. d. Sp. 7—10).

Natürlich ist die Stickstoffdüngung nicht für alle Lagerfälle verantwortlich zu machen. In Zeile 1 der Übersicht 9 sind die Versuche zusammengestellt, in denen nur die mit Stickstoff gedüngten Teilstücke lagerten; die Stickstoffdungung hat demnach also durchschnittlich in rund 9% der Versuche Lager verursacht; je nach der Höhe der N-Gaben schwankt der Anteil zwischen 7 und 13%. Der Anteil der Versuche, in denen die N-freien wie die N-gedüngten Teilstücke lagerten, in denen also die Witterung in erster Linie das Lagern herbeigeführt hat, beträgt im Durchschnitt 8%; theoretisch

[2]) Hierbei sind die Steigerungsversuche entsprechend der Zahl ihrer Staffeln mehrfach gezählt.

Übersicht 10.

Versuchsgruppe	Versuche							
	nach Hackfrucht		nach Leguminosen		nach Getreide		insgesamt	
	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %
	1		2		3		4	
1. Lager nur bei Volldüngung	71	63	23	21	18	16	112	100
2. Lager bei Grund- und Volldüngung	56	56	29	29	15	15	100	100
3. Versuche mit Lager insgesamt	127	60	52	24,5	33	16	212	100
4. Versuche mit u. ohne Lager insgesamt	275	59	283	23	231	19	1238	100

müßte der Anteil der durch ungünstige Witterung verursachten Lagerfälle in allen N-Staffeln gleich sein, die Werte sind jedoch wohl infolge der geringen Zahl von Versuchen nicht gleichmäßig.

Wie eine Auszählung ergab, ist die Zahl der Versuche mit Lager auf den leichten Böden andeutungsweise geringer als auf den besseren Böden.

Ein unterschiedlicher Einfluß der verschiedenen Vorfruchte auf die Lagerhäufigkeit läßt sich aus dem vorliegenden Versuchsmaterial nicht nachweisen, denn die Zahl der Lagerfalle nach den verschiedenen Vorfrüchten entspricht weitgehend dem Anteil, mit dem die Vorfrüchte an der Gesamtzahl der Versuche beteiligt sind (vgl. Übersicht 10, Zeilen 3 und 4, Sp. 1—4).

Nach dem vorhandenen Material hat es den Anschein, als ob das Lagern nach Leguminosen mehr durch die Witterung, nach Hackfruchten mehr durch die Stickstoffdungung begünstigt worden sei (vgl. die Prozentanteile in den Zeilen 1 und 2, Sp. 1 und 2).

Der Einfluß der Standfestigkeit der Sorten auf die Zahl der Lagerfälle ist deutlicher erkennbar (vgl. Übersicht 10, Zeilen 3 und 4, Sp. 5 bis 8). Während die standesschwachen Sorten in 29% aller Versuche angebaut wurden, beläuft sich ihr Anteil in den Versuchen mit Lager auf 40%. Umgekehrt waren standfeste Sorten in 46% aller Versuche vertreten, während der Anteil in den von Lager betroffenen Versuchen nur 38% beträgt. Das Verhältnis der standfesten und standschwachen Sorten ist in den durch die Witterung und in den durch die Stickstoffdüngung verursachten Lagerfallen ziemlich gleichartig (vgl. Übersicht 10, Zeilen 1 und 2, Sp. 5—8). Im ganzen zeigt die Zusammenstellung, was schon die einfache Überlegung sagt, daß man sich die Vorteile der Stickstoffdungung möglichst durch Anbau standfester Sorten zunutze machen sollte.

Über die Lagerhäufigkeit in einzelnen Gebieten weist das vorliegende Material, das für eine ausführliche Bekanntgabe allerdings noch zu geringen Umfang hat, folgendes aus: Relativ am

Versuche							
mit lageranfälligen Sorten		mit mittelstandfesten Sorten		mit standfesten Sorten		insgesamt	
Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %
5		6		7		8	
46	39	26	22	46	39	118	100
43	41	23	22	38	37	104	100
89	40	49	22	84	38	222	100
374	29	322	25	581	46	1277	100

häufigsten wurde der Weizen in den Versuchen des schwäbisch-fränkischen Gebietes von Lager betroffen; über dem Durchschnitt liegt der Anteil der Lagerfälle auch in Sachsen und im südlichen Bayern, unter dem Durchschnitt bleibt er in Schlesien, Neumark-Pyritz und vor allem in Nord. In Suddeutschland dürfte einmal die Witterung für das häufigere Lagern verantwortlich zu machen sein, denn der Anteil der durch die Stickstoffdungung verursachten Lagerfälle ist unterdurchschnittlich, wozu allerdings im schwäbisch-frankischen Gebiet z. T. auch der geringere Anteil Versuche mit hohen N-Gaben beigetragen haben mag; des weiteren scheint in den beiden suddeutschen Gebieten eine deutliche Beeinflussung der Lagerhäufigkeit durch überdurchschnittliche Verwendung lageranfälliger Sorten vorzuliegen. Nicht ganz zu erklären ist der größere Anteil lagernder Versuche in Sachsen. Nur zum Teil dürfte die besonders haufige Verwendung hoher N-Gaben mitsprechen, denn der Anteil der durch die Stickstoffdüngung hervorgerufenen Lagerfälle liegt nur unwesentlich über dem Durchschnitt. Vielleicht ist die in Sachsen allgemein sehr intensive Wirtschaftsweise mitbestimmend; natürlich ist bei der relativ geringen Zahl von Versuchen dieses Gebietes auch der Zufall nicht ganz ausgeschlossen. Die geringere Lagerhäufigkeit in Schlesien, Neumark-Pyritz und Nord dürfte in erster Linie auf den dortigen Klimaverhältnissen beruhen, in Schlesien kommt vielleicht auch der geringere Anteil Versuche mit hohen N-Gaben als weitere Ursache hinzu; in Nord ist der geringe Anteil lagernder Versuche um so beachtlicher, als hier der Anteil der stark gedüngten Versuche merklich über dem Durchschnitt liegt. Von den Gebieten mit mehr oder weniger durchschnittlichem Anteil Lagerfälle weisen Nordwest und vor allem das Oberrheingebiet einen überdurchschnittlichen Prozentsatz Versuche mit hohen N-Gaben auf; allerdings sind demgegenüber in diesen Gebieten die standfesten Sorten besonders stark vertreten.

Wenn sich auch im mitteldeutschen Höhengebiet, in dem der Weizen durch die Witterungsverhältnisse im allgemeinen stärker beansprucht wird, die Zahl der Lagerfälle im Durchschnitt hält, so mag das teils auf dem geringeren Anteil stark gedüngter Versuche, teils auf dem leicht überdurchschnittlichen Anteil standfesterer Sorten beruhen.

Ebenso wie Zahl und Anteil der Lagerfälle interessieren natürlich die Erträge und vor allem der Erfolg der N-Düngung in den Versuchen mit Lager. Sehr oft wird angenommen, daß die Stickstoffdüngung im Durchschnitt der Lagerjahre nicht nur keinen Nutzen bringe, sondern sich nicht einmal bezahlt mache, also gewissermaßen von den Erfolgen der Düngung in lagerfreien Jahren getragen werden musse. Die Grunderträge und die kg-N-Leistungen sind in Übersicht 9, in den Zeilen 5—8, mitgeteilt. Wie ein Vergleich der Zeilen 7 und 8, Spalten 1—5 zeigt, brachten die Versuche mit Lager im Durchschnitt die gleichen Grunderträge wie der Durchschnitt aller Versuche. Ein wesentlicher Unterschied in der Höhe des Grundertrages zwischen den nur bei Volldüngung lagernden Versuchen und den Versuchen mit Lager bei Voll- und Grunddüngung besteht beachtlicherweise nicht (vgl. die Zeilen 5 und 6); das Lager hat also bei Grunddüngung (Zeile 6) demnach höchstens die Ausbildung überdurchschnittlicher Grunderträge verhindert, die Grunderträge aber nicht unter den Durchschnitt herunterzudrücken vermocht.

Wie es um die Leistung des Stickstoffs in den Versuchen mit Lager bestellt ist, geht aus den Zeilen 5—7, Spalten 7—10 hervor. Erwartungsgemäß sind die kg-N-Leistungen in diesen Versuchen gedrückt; während 1 kg N im Durchschnitt aller Versuche je nach der Höhe der N-Gaben zwischen 15,5 und 17,2 kg Körner brachte, wurde durch 1 kg N im Durchschnitt der Versuche mit Lager zwischen 11,0 und 14,2 kg Körner erzielt (vgl. die Zeilen 7 und 8, Sp. 7—10). Allerdings ist die kg-N-Leistung in den Versuchen mit Lager nicht einheitlich. Vergleicht man die N-Leistung der Versuche, die nur bei Volldüngung lagerten, mit der N-Leistung der Versuche, die sowohl bei Grunddüngung wie bei Volldüngung Lager aufwiesen, so ergibt sich folgende bemerkenswerte Tatsache: In der erstgenannten Versuchsgruppe, in der vornehmlich die Stickstoffdüngung das Lager herbeigeführt hat, liegt die kg-N-Leistung im allgemeinen deutlich höher und viel weniger unter dem Durchschnitt aller Versuche als in den letztgenannten Versuchen, in denen das Lager zur Hauptsache durch die Witterung verursacht wurde (vgl. die Zeilen 5, 6 und 7). Das Lager hat also die Wirkung der Stickstoffdüngung durchweg nur dann merklicher beeinträchtigt, wenn die Ungunst der Witterung in erster Linie die Schuld für das Lager trug. Da aber selbst in diesen Fällen 1 kg Stickstoff durchschnittlich mindestens 10 kg Körner brachte — es ist das Dreifache der früher geforderten Mindestleistung —, so bringt also die Stickstoffdüngung auch in den Versuchen mit Lager im allgemeinen nicht nur die Kosten ein, sondern zumeist noch

einen beachtlichen Überschuß. Wenn die Zweckmäßigkeit der Stickstoffdüngung selbst bei einem ungünstigen Ergebnis gewiß nicht von den Lagerjahren her beurteilt werden könnte, so ist es doch von Bedeutung, daß der Erfolg der Stickstoffdüngung auch in Lagerjahren kaum mit wirtschaftlichem Risiko belastet ist.

Zusammenfassung.

1. Um den Einfluß der klimatischen und wirtschaftlichen Besonderheiten der wichtigsten Weizenbaugebiete auf die Stickstoffverwertung möglichst zur Geltung kommen zu lassen, wurden die vorliegenden Stickstoffdüngungsversuche zu Weizen nach Anbaugebieten zusammengefaßt. Es wurden 10 Anbaugebiete unterschieden.

2. Die Körnermehrerträge durch die Stickstoffdüngung betragen im Durchschnitt aller exakten Versuche mit einer N-Gabe von

30 kg/ha (225 Versuche) = 5,0 dz Korn (kg-N-Leistung = 16,9 kg Körner),
40 kg/ha (622 „) = 6,9 dz „ („ = 17,2 kg „),
50 kg/ha (215 „) = 8,6 dz „ („ = 17,0 kg „),
60 kg/ha (264 „) = 9,3 dz „ („ = 15,5 kg „).

Die Strohmehrerträge werden seit einigen Jahren nicht mehr allgemein ermittelt, sie belaufen sich im Durchschnitt der vorliegenden Feststellungen bei N-Gaben von

40 kg/ha (422 Feststellungen) auf 13,7 dz Stroh (kg-N-Leistung = 34,3 kg),
60 kg/ha (196 „) „ 19,7 dz „ („ = 32,8 kg).

3. In einer eingehenden Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde zunächst gezeigt, daß die durch höhere Erträge verursachte Erntemehrarbeit selbst bei hohen Kosten durch den Strohmehrertrag auch bei billiger Berechnung des Strohes aufgewogen wird. Setzt man die Kosten für Dünger und Düngerstreuen mit 64 Rpf. je kg N an, den Verwertungspreis des Weizens mit 20,— RM. je dz, so liegt die Grenze der Wirtschaftlichkeit bei einer Kornleistung von 3,2 kg je kg Stickstoff.

4. Bei den Untersuchungen zur Feststellung der obersten Grenze wirtschaftlicher Stickstoffanwendung im Weizenbau zeigte sich, daß Gaben von 40 kg N je ha unter normalen Verhältnissen ohne Zweifel in allen Gebieten Deutschlands wirtschaftlich sind. Wenn das vorhandene Versuchsmaterial es auch nicht gestattet, die Wirtschaftlichkeit einer Gabe von 50 kg N je ha mit der gleichen Sicherheit festzustellen, so ist die Wahrscheinlichkeit für die Wirtschaftlichkeit dieser Gabe doch allgemein gegeben. In einer Reihe von Gebieten können im Durchschnitt sogar Gaben von 60 kg N je ha zu Weizen mit sicherer Aussicht auf Erfolg eingesetzt werden. Es muß die Aufgabe weiterer Versuche sein, für jedes Gebiet die genaue Grenze wirtschaftlicher Stickstoffanwendung zu ermitteln, denn jeder Doppelzentner Korn, den der Bauer auf dem Hektar mit Vorteil mehr erzeugen kann, bedeutet angesichts der großen Getreidefläche einen nicht unbedeutenden Gewinn für unsere Ernährungswirtschaft.

Der Geldwert der Mehrerträge nach Abzug aller Kosten, die Überschüsse also, sind in der Übersicht 5 zusammengestellt. Im Durchschnitt wurden erzielt:

durch 30 kg/ha N ein Überschuß von 82,— RM.,
„ 40 kg/ha N „ „ „ 111,— RM.,
„ 50 kg/ha N „ „ „ 137,— RM.,
„ 60 kg/ha N „ „ „ 146,— RM.

5. An Hand der am zahlreichsten vorhandenen Versuche mit 40 kg je ha wurden im zweiten Teil der Arbeit einige Spezialfragen der Stickstoffverwertung untersucht.

Die Zusammenstellung der Versuche nach Vorfruchtgruppen (Hackfrucht, Leguminosen und Getreide) ergab folgendes: Die Einheit Stickstoff wurde nach Hackfrucht wohl infolge der guten Gare, in der die Hackfrüchte das Feld zu hinterlassen pflegen, am besten verwertet (kg-N-Leistung 18,5 kg). Wie im Reichsdurchschnitt, so zeigt sich die bessere N-Verwertung nach Hackfrucht auch in den meisten Anbaugebieten. Bemerkenswerterweise wurde die Stickstoffdüngung nach Klee und Getreide im Durchschnitt gleich gut verwertet (kg-N-Leistung 16,1 bzw. 16,2 kg Körner); in den verschiedenen Gebieten ist die Verwertung bald nach Getreide, bald nach Leguminosen besser, ohne daß sich bestimmte Gründe für das unterschiedliche Verhalten in den einzelnen Gebieten angeben ließen. Daß die Grenze der Wirtschaftlichkeit durch die Vorfrucht wesentlich verschoben wird, ist unwahrscheinlich.

6. Die Zusammenstellung der Versuche nach den vorkommenden Bodenarten ergab fast allgemein auf den leichten Böden (lehmiger und humoser Sand) eine etwas geringere kg-N-Leistung (Durchschnitt 16,3 kg Körner) als auf den mittleren und schwereren Böden (Durchschnitt 17,8 und 18,1 kg). Ob die Grenze der Wirtschaftlichkeit des Stickstoffeinsatzes vom Boden her wesentlich beeinflußt wird, läßt sich zur Zeit nicht übersehen; für die Böden, auf die der Weizen wirklich paßt, dürfte dies kaum der Fall sein.

7. Ein Einfluß der Bodenreaktion auf die Leistung des Stickstoffs konnte nicht festgestellt werden. Allerdings waren Versuche auf sauren Böden, den bekannten Reaktionsansprüchen des Weizens Rechnung tragend, kaum vorhanden.

8. Die Gruppierung der Versuche nach Jahren mit guten und schlechten Durchschnittserträgen ergab im Reichsdurchschnitt die gleiche, in den einzelnen Gebieten aber eine recht unterschiedliche Stickstoffverwertung, wobei bald die guten, bald die schlechten Weizenjahre die höhere Stickstoffverwertung brachten.

9. Der Anteil der merklich „vom Lager betroffenen“ Versuche beträgt im Gesamtdurchschnitt 17%; auf das zeitliche Nacheinander übertragen, würde das also etwa 1mal Lager in 6 Jahren gleichkommen. Durch die Stickstoffdüngung wurde das Lagern durchschnittlich in 9% der Versuche (also 1mal Lager in 11 Jahren) verursacht, je nach der Höhe der N-Düngung schwankt der Anteil zwischen 7 und 13%. Gebietsweise ergeben sich natürlich Unterschiede in der Lagerhäufigkeit; sie sind zum Teil auf die Klima-

verhältnisse, daneben aber z. T. auch auf die geringere oder größere Verbreitung lageranfälliger Sorten zurückzuführen.

In den Versuchen mit Lager war die kg-N-Leistung erwartungsgemäß geringer als im Durchschnitt aller Versuche der betreffenden N-Staffel. Der Rückstand beträgt zwischen 3 und 4,5 kg Körner; in den durch die Stickstoffdüngung verursachten Lagerfällen war der Rückstand meist deutlich geringer als in den in erster Linie durch die Witterung herbeigeführten Lagerfällen. In beiden Gruppen erreichte die kg-N-Leistung jedoch bei allen N-Gaben im Durchschnitt mindestens das Dreifache der zur Kostendeckung notwendigen Mindestleistung. Auch in den Lagerjahren bringt also die Stickstoffdüngung durchweg einen Mehrertrag, der nicht nur die Kosten deckt, sondern sogar einen Überschuß übrig läßt. [275]

Gefäßversuche zur Bewertung der Phosphorsäure in Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska[1]).

Von **W. Lehmann**, Jena.

Mitteilungen der Thür. Landw. Versuchsstation und der Landw. Chem. Anstalt der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Leiter: Prof. Dr. Scheffer.

Eingegangen: 5. Januar 1938.

In den Jahren 1934 und 1935 wurden von der Thür. Landw. Versuchsstation und der Landw. Chem. Anstalt der Friedrich-Schiller-Universitat Jena mit Hilfe des Forschungsdienstes eine Reihe von Gefäßversuchen nach Mitscherlich zur Bewertung der Phosphorsaure in Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska (kalkhaltig) ausgeführt.

Diesen Gefäßversuchen lag folgender Versuchsplan zugrunde. In verschiedenen Böden-Sand-Gemischen bei gleicher Grunddüngung sollte der Wirkungswert der Phosphorsäure der oben genannten Düngemittel mit dem von Thomasmehl, Superphosphat und Dikalziumphosphat bei verschiedenen Gaben verglichen werden.

Versuche 1934.

Als Bodenmaterial diente ein lehmiger Buntsandsteinboden aus Renthendorf bei Stadtroda/Thür. und ein Lehmboden aus Weißbach/Thur. Jedes Gefaß erhielt 1500 g Boden und 5500 g gewaschenen Glassand (von Schott & Gen., Jena). Der Gehalt der Böden an Nährstoffen nach Neubauer sowie die Reaktionszahlen sind aus der Übersicht 1 ersichtlich.

Übersicht 1.

	P_2O_5	K_2O	pH	
	nach Neubauer		in H_2O	in KCl
Boden Renthendorf .	2,0	27,5	6,6	5,9
Boden Weißbach . .	2,5	35,9	6,2	5,4

Die benutzten Düngemittel zeigten folgende Zusammensetzung:

Als Grunddüngung erhielt jedes Gefäß 1,6 g K_2O als Kaliumchlorid, 1,2 g Stickstoff als Ammonnitrat. Die im Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska schon enthaltenen K_2O- und N-Mengen wurden bei der Kali- und Stickstoffdüngung berücksichtigt. Außerdem erhielt jedes Gefäß 1,5 g kohlensauren Kalk.

[1]) Aus den Arbeitskreisen II/7 und II/8. Federführender: Prof. Dr. Giesecke.

Übersicht 2.

	Gesamt P_2O_5	Zitratlöslich P_2O_5	Zitronensäurelöslich P_2O_5	Wasserlöslich P_2O_5	K_2O	N
Thomasmehl . . .	18,52	—	17,51	—	—	
Superphosphat . . .	18,97	--	-	18,03	--	—
Nitrophoska (kalkhalt.)	12,44	12,05	12,06	—	22,24	11,93
Dikalziumphosphat	26,72	17,27	24,61	—	—	–
Stickstoffkalkphosphat	19,80	17,89	19,08	–	--	19,16

Als Differenzdüngung wurde die Phosphorsäure in Gaben von 0,10; 0,15; 0,20; 0,30; 0,45 und 0,90 g angewandt. Nur bei Nitrophoska wurden infolge eines Mißverständnisses 0,05; 0,075, 0,10; 0,15; 0,225 und 0,45 g P_2O_5 verabreicht. Von jeder Phosphorsäuregabe wurden vier Parallelgefäße angesetzt. Als Versuchspflanze diente Strubes Weißhafer. Bis zum Schossen erhielt jedes Gefäß eine Wassermenge von 60 %, danach von 100 % der Wasserkapazität des Boden-Sandgemisches.

Am 14. April wurden je Gefäß 50 Haferkörner ausgesät, die nach 14 Tagen auf 35 Pflanzen verzogen wurden. Am 19 Mai begann das Schossen und am 17. Juni das Rispenschieben. Die Ernte erfolgte am 24. und 25. Juli.

Übersicht 3 zeigt die Ernteergebnisse:

Die Steigerung der Phosphorsäure von 0,45 g auf 0,90 g P_2O_5 brachte bei beiden Böden und bei allen untersuchten Düngemitteln eine deutliche Ertragssteigerung. In der Wirkung der geprüften Phosphorsäuredüngemittel zeigten sich bei den zur Prüfung angewandten Phosphorsäuregaben keine wesentlichen Unterschiede, die Erträge lagen in allen Fällen in gleicher Höhe. Demnach haben bei den zur Untersuchung benutzten beiden Boden-Sandgemischen Nitrophoska kalkhaltig und Stickstoffkalkphosphat dieselben Ertragssteigerungen erbracht wie die zum Vergleich herangezogenen Düngemittel: Thomasmehl, Superphosphat und Dikalziumphosphat. Ebenso wurde bei allen Phosphorsäuregaben und untersuchten Düngemitteln die Phosphorsäure in gleicher Höhe von den Haferpflanzen ausgenutzt, und zwar lag die Ausnutzung überall zwischen 40 % und 50 %, wie Übersicht 4a und Übersicht 4b zeigen.

Versuche 1935.

Um die Ergebnisse des Versuchsjahres 1934 weiter zu stützen, wurden im Jahre 1935 die Versuche wiederholt, und zwar wurden diesmal Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska kalkhaltig in ihrer Wirkung mit Thomasmehl verglichen und zwar in Gaben bei dem einen Boden von 0,3; 0,6 und 0,9 g, bei dem anderen Boden von 0,10; 0,20; 0,30; 0,60 und 0,90 g P_2O_5 je Gefäß mit vier Wiederholungen. Als Bodenmaterial diente ein saurer Lehmboden aus Annelsbach bei Darmstadt ohne Sandbeimengung und ein humoser neutraler Lehmboden aus Hohlstedt bei Jena (1,5 kg Boden + 5,5 kg Sand). Der Gehalt an wurzellöslichen Nährstoffen nach Neubauer und die Reaktion zeigt Übersicht 5.

Übersicht 3a.

Vergleich der Mittelerträge in g Trockensubstanz.

Boden Renthendorf.

Differenzdüngung P_2O_5 in g	Thomasmehl		Superphosphat		Nitrophoska		Dikalzium-phosphat		Stickstoff-kalkphosphat	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
0,000	0,7±0,09	5,7±0,37	0,7±0,09	5,7±0,37	0,7±0,09	5,7±0,37	0,7±0,09	5,7±0,37	0,7±0,09	5,7±0,37
0,000	—	—	—	—	5,0±0,23	14,3±0,61	—	—	—	—
0,075	—	—	—	—	8,2±0,45	19,4±0,04	—	—	—	—
0,100	10,3±0,36	24,9±0,37	10,4±0,37	22,9±0,32	10,7±0,52	25,6±1,05	10,6±0,20	23,6±0,55	10,2±0,20	22,9±0,35
0,150	17,2±0,45	31,0±0,50	16,4±0,05	31,6±0,25	18,1±0,65	33,0±0,50	14,8±0,41	28,8±0,49	16,6±0,25	30,3±0,63
0,200	22,3±0,36	41,1±0,48	25,0±0,24	40,7±0,52	—	—	24,8±0,14	40,6±0,88	25,5±0,82	41,4±0,77
0,225	—	—	—	—	27,1±0,48	44,9±0,72	—	—	—	—
0,300	31,4±0,46	54,4±0 50	34,8±0,49	55,8±0,25	—	—	34,2±0,25	55,6±0,35	34,2±1,48	58,2±2,52
0,450	40,2±0,42	70,1±0,54	42,6±0,88	69,8±0,52	40,4±0,57	67,9±1,92	41,7±1,17	71,0±1,37	38,7±0,77	65,5±2,81
0,900	44,6±0,54	75,7±0,69	47,7±1,88	75,5±1,04	—	—	48,3±0,61	77,1±1,12	42,7±0,77	75,7±1,38

Übersicht 3b.

Boden Weißbach.

Differenzdüngung P_2O_5 in g	Thomasmehl		Superphosphat		Nitrophoska	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
0,000	3,5±0,28	10,4±0,40	3,5±0,28	10,4±0,40	3,5±0,28	10,4±0,40
0,050	—	—	—	—	8,3±0,58	18,7±0,64
0,075	—	—	—	—	10,8±0,35	24,5±0,46
0,100	11,6±0,03	24,5±0,17	11,6±0,28	26,9±0,33	12,9±0,41	28,6±0,56
0,150	17,3±0,51	33,3±0,91	17,5±0,63	35,8±0,58	16,6±0,37	34,2±0,78
0,200	23,2±0,99	43,0±0,49	24,3±0,75	43,6±0,92	—	—
0,225	—	—	—	—	26,5±0,68	48,0±0,84
0,300	32,2±0,53	61,6±0,64	33,0±0,57	58,1±0,51	—	—
0,450	40,9±0,58	75,8±1,45	40,4±0,46	70,6±0,59	40,4±1,06	75,2±0,75
0,900	45,7±0,84	79,4±1,27	46,7±0,62	79,1±1,73	—	—

Übersicht 4 a.

Aufnahme und Ausnutzung der Phosphorsäure.

Boden Renthendorf.

Differenz-düng. in g	Thomasmehl		Superphosphat		Nitrophoska		Dikalziumphosphat		Stickstoffkalkphosphat	
	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %
0,000	0,007	—	0,007	—	0,007	—	0,007	—	0,007	—
0,050	—	—	—	—	0,033	52,0	—	—	—	—
0,075	—	—	—	—	0,046	52,0	—	—	—	—
0,100	0,060	53,0	0,056	49,0	0,059	52,0	0,054	47,0	0,055	48,0
0,150	0,084	51,3	0,074	44,0	0,078	47,3	0,072	43,3	0,075	45,3
0,200	0,107	50,0	0,105	49,0	—	—	0,099	46,0	0,111	52,0
0,225	—	—	—	—	0,113	47,1	—	—	—	—
0,300	0,151	48,0	0,154	49,0	—	—	0,140	44,3	0,154	49,0
0,450	0,230	49,6	0,236	50,8	0,221	47,5	0,228	49,1	0,212	45,6
0,900	0,460	50,3	0,489	53,5	—	—	0,467	51,1	0,422	46,1

Übersicht 4 b.

Boden Weißbach.

0,000	0,025	—	0,025	—	0,025	—	—	—	—	—
0,050	—	—	—	—	0,044	38,0	—	—	—	—
0,075	—	—	—	—	0,060	46,7	—	—	—	—
0,100	0,060	42,0	0,059	34,0	0,068	43,0	—	—	—	—
0,150	0,080	36,6	0,082	38,0	0,085	40,0	—	—	—	—
0,200	0,110	42,5	0,109	42,0	—	—	—	—	—	—
0,225	0,163	46,0	0,165	46,6	0,125	44,4	—	—	—	—
0,300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,450	0,254	50,6	0,230	45,6	0,232	46,0	—	—	—	—
0,900	0,482	50,7	0,487	51,3	—	—	—	—	—	—

Übersicht 5,

	P_2O_5 in mg	K_2O in mg	pH in H_2O	pH in KCl
Boden Annelsbach .	2,8	25,3	5,7	4,8
Boden Hohlstedt . .	2,1	26,2	7,3	6,1

Die Zusammensetzung der benutzten Phosphatdüngemittel geht aus Übersicht 6 hervor.

Übersicht 6.

	Gesamt P_2O_5 %	Zitratlöslich P_2O_5 %	Zitronenlöslich P_2O_5 %	K_2O %	Gesamt-N %
Thomasmehl	16,41	—	15,61	—	—
Stickstoffkalkphosphat .	16,50	15,52	—	—	16,30
Nitrophoska kalkhaltig .	12,37	11,85	—	21,99	12,23

Als Grunddüngung erhielten die Gefäße im Ganzen 1,6 g K_2O in Form von Kaliumchlorid und 1,0 g Stickstoff in Form von Ammonnitrat. Als Versuchspflanze diente wieder Hafer. (Beseler 2.) Durch tägliches Begießen mit destilliertem Wasser wurden die Gefäße auf 60% der Wasserkapazität gebracht, danach auf 100%. Am 24. April erhielt jedes Gefäß 50 Haferkörner, die etwa am 1. Mai gleichmäßig aufgingen. Nach 14 Tagen wurden die Pflänzchen auf 35 Stück je Gefäß verzogen. Etwa am 5. Juni begann das Schossen, am 28. Juni das Rispenschieben. Die Ernte erfolgte am 6. und 7. August.

Übersicht 7a und Übersicht 7b zeigen die Ernteergebnisse; Übersicht 8a und 8b die von den Haferpflänzchen aufgenommene und ausgenutzte Phosphorsäure. Übersicht 9 die im Boden gemessene Reaktion.

Übersicht 7a.

Vergleich der Mittelerträge in g Trockensubstanz.
Boden Annelsbach.

Differenzdüngung P_2O_5 in g	Thomasmehl		Stickstoffkalkphosphat		Nitrophoska kalkhaltig	
	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh
0,0	24,5 ± 1,30	38,6 ± 0,48	24,5 ± 1,30	38,6 ± 0,48	24,5 ± 1,30	38,6 ± 0,48
0,3	36,8 ± 1,29	52,2 ± 0,81	34,9 ± 1,27	55,0 ± 1,14	33,7 ± 1,13	52,7 ± 1,07
0,6	39,2 ± 1,27	62,8 ± 0,69	37,6 ± 0,81	61,5 ± 0,44	34,6 ± 0,62	57,2 ± 2,58
0,9	42,1 ± 0,89	62,0 ± 1,70	40,2 ± 1,56	62,7 ± 1,25	41,4 ± 0,10	60,4 ± 0,69

Übersicht 7b.

Boden Hohlstedt:

0,0	1,1 ± 0,04	6,9 ± 0,49	1,1 ± 0,04	6,9 ± 0,49	1,1 ± 0,04	6,9 ± 0,49
0,1	8,2 ± 0,44	20,0 ± 0,63	7,5 ± 0,57	20,1 ± 0,35	7,9 ± 0,65	21,0 ± 0,07
0,2	16,1 ± 1,52	33,9 ± 1,52	17,2 ± 0,97	33,8 ± 0,76	16,1 ± 0,87	33,2 ± 1,67
0,3	21,1 ± 0,59	42,1 ± 1,11	25,9 ± 0,99	44,1 ± 1,21	25,9 ± 2,35	46,7 ± 2,27
0,6	34,0 ± 0,74	55,1 ± 0,82	34,8 ± 0,52	56,3 ± 0,51	34,8 ± 0,14	55,3 ± 2,37
0,9	36,1 ± 0,50	57,1 ± 0,66	34,3 ± 2,29	57,2 ± 0,98	35,3 ± 1,56	57,2 ± 1,83

Übersicht 8a.

Aufnahme und Ausnutzung der Phosphorsaure:
Boden Annelsbach.

Differenzdüngung in g	Thomasmehl		Stickstoffkalkphosphat		Nitrophoska kalkhaltig	
	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %	Gesamtaufnahme in g	Ausnutzung in %
0,0	0,192	—	0,192		0,192	—
0,3	0,278	28,7	0,273	27,0	0,259	22,3
0,6	0,407	35,8	0,390	33,0	0,364	28,7
0,9	0,508	35,1	0,523	36,8	0,515	35,9

Übersicht 8b.

Boden Hohlstedt.

0,0	0,015	—	0,015	—	0,015	—
0,1	0,052	37,0	0,046	31,0	0,053	38,0
0,2	0,099	42,0	0,115	50,0	0,096	40,5
0,3	0,154	46,3	0,162	49,0	0,160	48,3
0,6	0,339	54,0	0,295	46,7	0,332	52,8
0,9	0,481	51,8	0,425	45,6	0,470	50,6

Übersicht 9a.

pH in der Wasseraufschlämmung nach der Ernte.

Boden Annelsbach.

Differenzdüngung P_2O_5 in g	Thomasmehl	Stickstoffkalkphosphat	Nitrophoska kalkhaltig
0,0	6,8; 6,3; 6,2; 6,3	6,8; 6,3; 6,2; 6,3	6,8; 6,3; 6,2; 6,3
0,3	6,3; 6,2; 6,2; 6,2	6,4; 6,2; 6,0; 6,1	6,1; 6,3; 6,0; 6,2
0,6	6,4, 6,4; 6,4; 6,5	6,0; 6,2; 6,0; 6,2	6,1; 6,1; 6,0; 6,0
0,9	6,4; 6,5; 6,4; 6,6	6,4; 6,3; 6,4; 6,3	6,1; 6,1; 6,0; 6,0

Übersicht 9b.

Boden Hohlstedt.

Differenzdüngung P_2O_5 in g	Thomasmehl	Stickstoffkalkphosphat	Nitrophoska kalkhaltig
0,0	5,8; 6,0; 6,0; 5,9	5,8; 6,0; 6,0; 5,9	5,8; 6,0; 6,0; 5,9
0,1	6.6; 6,8, 7,1; 7,1	7,4; 7,2; 6,7; 6,8	7,0; 6,9; 6,9; 6,9
0,2	7,1; 7,3; 7,4; 7,4	6,8; 6,7; 6.8; 6,8	7,0; 7,0; 6,9; 6,9
0,3	7,5; 7,5; 7,4; 7,3	6,9; 6,8; 6,8; 6,8	7,0; 6,8; 7,0; 6,9
0,6	7,4; 7,6; 7,5; 7,4	6,8; 6,8; 6,7; 6,7	6,8; 6,8; 6,8; 6,8
0,9	7,3; 7,5; 7,6; 7,6	6,7, 6,8; 6,9; 6,9	6,9; 6,8; 6,8; 6,8

Die Ausnutzung der gegebenen Phosphatgaben war bei dem Boden Annelsbach wesentlich niedriger als bei den im Jahre 1934 untersuchten Bodensandgemischen, sie bewegte sich zwischen rund 25 und 35%, und zwar war die Ausnutzung bei der kleinsten Gabe geringer als bei den hohen Gaben.

Bei dem Bodensandgemisch Hohlstedt bewegte sich die Ausnutzung zwischen rund 40 und 50% wie bei den vorjährigen Versuchen. Bei den niedrigsten Gaben war ebenfalls die kleinste Ausnutzung festzustellen, ohne allerdings eine regelmäßige Steigerung bei den höheren Gaben aufzuweisen.

Die Reaktion in den Gefäßen nach der Vegetation war bei dem stark gepufferten Boden Annelsbach annähernd dieselbe, gleichgültig, in welcher Form und in welcher Menge die Phosphorsäuredüngung erfolgt war. Im Gegensatz dazu hatte die Thomasmehldüngung bei dem schwach gepufferten Bodensandgemisch Hohlstedt die Reaktionszahl über den Neutralpunkt Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska kalkhaltig bis zum Neutralpunkt erhöht.

Eine Ertragszunahme bei einer Phosphorsäuregabe von 0,9 g je Gefäß war gegenüber der Gabe von 0,6 g kaum noch festzustellen. Auch in dem Versuchsjahr 1935 lag die Ertragssteigerung der untersuchten Düngemittel bei beiden Böden und bei den einzelnen Gaben in gleicher Höhe. Stickstoffkalkphosphat und Nitrophoska kalkhaltig erzielten bei dem reinen Boden und dem Bodensandgemisch fast die gleichen Ergebnisse und sind gegenüber den geprüften Düngemitteln als gleichwertig zu betrachten. [127]

Versuche über die Wirkung von Ca- und Mg-Verbindungen auf Boden und Pflanze.

Von **S. Gericke** und **E. P. v. Polheim.**
Landwirtschaftliche Versuchsanstalt des Vereins der Thomasmehlerzeuger Berlin-Dahlem.

Eingegangen: 10. März 1939.

Bei der Anwendung von Kalk- und Magnesiaverbindungen als Düngemittel in der Landwirtschaft ist wiederholt die Frage aufgetaucht, ob man zweckmäßig basisch wirkende oder andere Salze verwenden soll.

O. Loew hat vielfach den Standpunkt vertreten, daß auch auf saurem Boden z. B. $CaCO_3$ durch $CaSO_4$ ersetzt werden kann, ohne daß dadurch eine Schädigung des Pflanzenwachstums auftritt. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Magnesia, deren Anwendung in Form von Carbonat und Sulfat verschiedentlich empfohlen wurde.

In der Praxis hat sich aber die Anwendung von Sulfaten des Kalkes und der Magnesia nicht durchgesetzt, einmal weil kein Bedürfnis dafür vorlag und weiter, weil es sich für unsere zum großen Teil versauerten Böden als zweckmäßiger erwiesen hat, die basisch wirkenden Formen zu gebrauchen. Der Einwand, daß in unseren Böden evtl. im Laufe der Zeit ein gewisser Mangel an Schwefel auftreten würde, ist nicht stichhaltig, da neben der ständigen Versorgung aus der Luft durch Kalisalze und Stickstoffdünger im Laufe der Jahre ganz beträchtliche S-Mengen in Form von SO_4 in den Boden gelangen (1). Wenn auch der im Boden sich bildende Gips allmählich ausgewaschen wird, so wird durch die jährliche Düngung stets für genügenden Ersatz gesorgt. Es ist im Gegenteil unter Berücksichtigung dieser Tatsache dringend notwendig, der Düngung mit Kalk in basisch wirksamer Form die besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, denn nur wenn der Boden durch einen ausreichenden Kalkgehalt in der Lage ist, die mit der Düngung SO_4-haltiger Düngemittel erfolgenden Reaktionsstöße abzupuffern, ist der erfolgreiche Gebrauch dieser Düngemittel möglich.

Die Gipsdüngung, deren Anwendung hin und wieder empfohlen wird, spielt bei unseren Klima- und Bodenverhältnissen keine Rolle, nur in ariden Gebieten wird sie zwecks Umwandlung der sich bildenden Soda in Natriumsulfat mit Erfolg verwendet (2). Da der Gips neutral reagiert, beeinflußt er die Bodenreaktion nicht nach der alkalischen Seite und kann daher auch bei uns die basischen Kalkdüngemittel nicht ersetzen. Gips sollte daher im allgemeinen nicht angewendet werden (3).

Daß der Schwefel in Form von Gips oder anderen SO_4-haltigen Salzen eine düngende Wirkung auf die Pflanzen ausüben kann, ist dann selbstverständlich, wenn der Boden S-frei ist. Denn da der Schwefel zu den für den Aufbau der Pflanze notwendigen Elementen gehört, wirkt sich sein Fehlen in ungenügender Entwicklung aus. Die früher beobachtete günstige Wirkung

der S-Düngung auf Leguminosen konnte durch Versuche von Pfeiffer (4), Gerlach (5) u. a. nicht bestätigt werden. Auch die zur Klärung dieser Frage von der D. L. G. (6) durchgeführten Düngungsversuche in Gefäßen und auf freiem Felde konnten keine Bestätigung für die günstige Wirkung der S-Düngung erbringen.

Über die Notwendigkeit einer besonderen Schwefeldüngung können wir heute bereits ein abschließendes Urteil fällen.

Wohl hat sie in Amerika, Frankreich und Rußland in neuerer Zeit starke Beachtung gefunden; abgesehen aber von den wenigen Fallen, in denen besonders schwefelbedürftige Pflanzen, wie Erdnüsse, Tomaten, Pfeffer und schwarzer Senf auf anscheinend schwefelarmem Boden wuchsen und eine Schwefeldüngung durch starke Ertragserhohung lohnten, wenn diesen Pflanzen Schwefel als Nährstoff zugeführt wurde, ist auch im Ausland der Schwefel nur als mittelbares Düngemittel zu werten. Die deutschen Böden enthalten in der Regel Schwefel genug, um das Nährstoffbedürfnis der Pflanzen zu befriedigen, außerdem wird er in ausreichender Menge als Nebenbestandteil der Düngemittel gegeben (7). Die gleiche Ansicht wurde auch früher schon von Jessen (8) vertreten. S-freie Boden kommen bei uns auch praktisch nicht vor, ebenfalls dürften Böden mit S-Mangel bei uns außerst selten sein. Wenn trotzdem u. U. Wirkungen von Gips auftreten, so beruhen diese wahrscheinlich mehr auf Austauschvorgängen oder anderen Umsetzungen mit den Bodennährstoffen und Bestandteilen. Nolte (9) sagt daher mit Recht: „Weder Gips noch Fluorsalze haben nach allen bisherigen Erfahrungen sichere und beachtliche Wirkungen hervorgerufen, weder auf die Höhe des Ertrags noch auf die Güte der Ernte."

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den Magnesiaverbindungen, und zwar ist hier der Gedanke der Beseitigung eines Mg-Mangels das Primäre, da dieser bei uns in letzter Zeit öfter bemerkbar wurde. Wenn in diesen Fällen Magnesia als $MgSO_4$ (meist in Form von Kalisalzen) gegeben wird, so geschieht dies, um die leichte Löslichkeit dieser Verbindung für eine schnelle Wirkung auszunutzen, der Bestandteil SO_4 selbst spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Im übrigen gibt man die Mg-Düngung ebenso wie beim Kalk in basischer Form meist mit der Kalkdüngung zusammen und im Thomasmehl, durch das allein jährlich 1,2 Millionen dz MgO den Böden in Deutschland zugeführt werden, was für die Verbesserung der Reaktion unserer Böden nur von Vorteil ist. Die Anreicherung unserer Böden, namentlich der leichteren, mit basisch wirksamen Bestandteilen ist für die nächsten Jahre eine wichtige Aufgabe, denn die Basenarmut der Böden ist mit eine der stärksten Ursachen der noch immer vielfach mangelhaften Erträge.

Kappen (10), Lemmermann (11) u. a. haben sich für die Mehranwendung basisch wirksamer Düngemittel in Deutschland wiederholt eingesetzt und durch Versuche die Richtigkeit und Notwendigkeit dieser Maßnahme nachgewiesen.

Bei der im allgemeinen ungenügenden Kalkversorgung unserer Böden sollte daher nach Möglichkeit die Anwendung von physiologisch saurer Düngung vermieden werden, bzw. sollte sie auf die kalkreichen Böden beschränkt bleiben.

Zu den physiologisch sauren Düngesalzen gehören auch $CaSO_4$ und $MgSO_4$. Kappen (12) hat dies durch Versuche nach der Methode der isolierten Ernährung festgestellt, wobei sich folgende Änderung des Reaktionswertes der Lösung unter dem Einfluß der Pflanzen ergab:

	pH		Titrationswert ccm 0,01 n NaOH	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende
$CaSO_4$	6,08	4,43	0	0,4
$MgSO_4$	6,12	3,86	0	1,6

$MgSO_4$ ist also physiologisch saurer als $CaSO_4$, wie besonders aus dem Titrationswert (0,01 n NaOH) hervorgeht; ohne Zweifel erleiden diese Salze eine deutliche Reaktionsverschiebung nach der sauren Seite hin, wie theoretisch auch zu erwarten ist. Wenn auch die pH-Verschiebungen geringer sind als bei K- und N-Salzen, sind sie doch so bedeutend, daß an der Annahme einer physiologisch sauren Reaktion dieser beiden Salze nicht gezweifelt werden kann.

In eigenen Versuchen, die aber im Gegensatz zu den Arbeiten von Kappen mit Boden ausgeführt wurden, konnte die physiologisch saure Eigenschaft dieser Salze bestätigt werden.

Zunächst führten wir einige Untersuchungen über den chemischen Einfluß der Salze $CaSO_4$ und $MgSO_4$ auf den Reaktionszustand des Bodens aus, ohne daß dabei eine Bepflanzung erfolgte.

Es wurden 6 Böden von verschiedener Reaktion mit $CaSO_4$ und $MgSO_4$ gedüngt und in feuchtem Zustande 14 Tage stehengelassen. Die Düngung entsprach einer Menge von 10 dz/ha CaO. Nach Abschluß des Versuches wurden die Böden getrocknet und auf ihre Reaktion und ihren Gehalt an hydrolytischer und Austauschazidität untersucht, die Ergebnisse sind folgende:

Übersicht 1.
Einwirkung von $CaSO_4$ und $MgSO_4$ auf die Reaktion des Bodens.

Boden	Ungedüngt			$CaSO_4$			$MgSO_4$		
	pH H_2O/KCl	HA y_1	AA y_1	pH H_2O/KCl	HA y_1	AA y_1	pH H_2O/KCl	HA y_1	AA y_1
1	4,85/4,32	10,00	2,00	4,60/4,36	9,75	1,90	4,61/4,34	9,75	1,90
2	5,16/4,48	9,75	2,00	4,86/4,44	9,75	2,00	4,80/4,38	10,00	2,10
3	5,58/5,35	6,25		5,45/5,38	6,25		5,55/5,42	6,25	
4	5,80/5,78	9,50		5,86/5,84	10,00		5,92/5,92	9,00	
5	7,70/7,06	2,00		7,40/6,94	1,75		7,48/7,02	1,75	
6	~8,3/7,86	1,75		~8,2/7,82	1,75		~8,2/7,82	1,75	

Hieraus geht hervor, daß die beiden Salze die Bodenreaktion nur wenig ändern, wie das auch den Erwartungen entspricht. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß eine geringe Verschiebung der Reaktion nach der sauren Seite bei sämtlichen Böden vorhanden ist.

Um die Wirkung der Salze auf den Reaktionszustand des Bodens bei gleichzeitiger Düngung mit KPN und in Gegenwart von Pflanzen, d. h. also ihre physiologische Eigenschaft festzustellen, dienten uns die Ergebnisse eines Düngungsversuches. Es handelt sich dabei um einen Versuch auf saurem Lehmboden, der neben einer Düngung von KN und PKN mit Kalk und Magnesia in Form von $CaCO_3$, $CaSO_4$, $MgCO_3$ und $MgSO_4$ gedüngt wurde.

Die Düngung bestand aus 1,2 g N, 1,5 g K_2O und 0,6 g P_2O_5 als Thomasmehl. Die CaO- bzw. die äquivalenten MgO-Mengen wurden auf Grund der dreifachen Austauschazidität gegeben. Als Versuchspflanze diente Gerste. Nach Beendigung der Vegetation wurden die verschieden gedüngten Böden auf ihre Reaktion (pH), ihren Gehalt an hydrolytischer und Austauschsäure sowie auf ihren Basenbedarf untersucht. Die Ergebnisse sind in Übersicht 2 zusammengestellt.

Übersicht 2.
Einfluß der Düngung von Ca- und Mg-Verbindungen auf den Reaktionszustand des Bodens unter dem Einfluß der Vegetation.

Nr.	Düngung	pH/pH	H y_1	A y_1
1	KN	4,7/4,2	7,75	0,9
2	KNP	5,5/4,7	6,50	0,1
3	KN + $CaCO_3$	4,9/4,4	7,25	0,4
4	KNP + $CaCO_3$	5,9/5,3	5,50	0,0
5	KN + $CaSO_4$	4,5/4,1	10,25	2,9
6	KNP + $CaSO_4$	5,4/4,7	6,75	0,1
7	KN + $MgCO_3$	4,7/4,2	8,75	1,6
8.	KNP + $MgCO_3$	5,7/4,9	6,00	0,1
9	KN + $MgSO_4$	4,5/4,1	9,75	2,3
10	KNP + $MgSO_4$	5,0/4,3	9,00	2,2

Der ungedüngte Boden zeigte folgende Reaktionswerte:

pH/pH	H y_1	A y_1
5,7/5,0	6,8 ccm	0,7 ccm.

Durch die Düngung mit den Kali- und Stickstoffsalzen und infolge ihrer physiologisch sauren Auswirkung unter dem Einfluß der Vegetation hat die Azidität des Bodens eine Zunahme erfahren, doch konnte diese durch die basische Wirkung der Phosphorsäuredüngung ausgeglichen werden, so daß sogar eine fast vollständige Beseitigung der Austauschsäure erreicht wurde. Die Düngung mit $CaCO_3$ wirkte, wenn auch wesentlich schwächer, in ähnlicher Richtung auf die Azidität ein. Das stimmt mit der gegebenen CaO-Menge überein, denn während mit Thomasmehl 1,8 g CaO gegeben wurde, betrug die CaO-Menge bei $CaCO_3$ 1,5 g. Dementsprechend ist auch die gemeinsame Wirkung dieser beiden CaO-Mengen sehr gut (Nr. 4). Der Boden wird deutlich in seinem Kalkzustand verbessert. Anders liegen die Verhältnisse bei der Düngung mit $CaSO_4$. Im Gegensatz zu den rein chemischen Versuchen, bei denen $CaSO_4$ neutral reagierte und die Bodenreaktion nur gering beeinflußte, ergibt sich hier eine ganz deutliche Zunahme der Azidität (Nr. 1 u. 5), die bei sämtlichen Untersuchungsmethoden klar zum Ausdruck kommt. Bemerkenswert ist vor allem die starke Erhöhung der Austauschsäure, die in diesem Ausmaße keineswegs zu erwarten war. Durch die Phosphorsäuredüngung und den dadurch mitgegebenen basisch wirkenden Kalk wird dagegen die ungünstige Wirkung von $CaSO_4$ wieder aufgehoben und der Kalkzustand des Bodens vorteilhaft beeinflußt (Nr. 6). $MgCO_3$ allein hat

keine verbessernde Wirkung auszuüben vermocht, nur in Verbindung mit dem in der P-Düngung mitgegebenen Kalk ist eine günstige Veränderung des Reaktionszustandes eingetreten. Sehr ungünstig liegen die Verhältnisse bei $MgSO_4$, das in ganz ähnlicher Weise wie $CaSO_4$ die Azidität des Bodens stark vermehrt hat. Hier reichte auch die basische Eigenschaft der Thomasmehldüngung nicht aus, die Schädigung des Bodens zu beseitigen.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß es auf basenarmen Böden nicht ungefährlich ist, Kalk und Magnesia in Form von Sulfaten zuzuführen, da sie die Tendenz zeigen, die Azidität des Bodens eher zu erhöhen als unverändert zu lassen. Was hier an einem sauren Boden verfolgt werden konnte, gilt grundsätzlich auch für andere Böden mit schwachem oder besserem Kalkzustand, wenn sich natürlich auch dort die Wirkung der Düngemittel nicht so stark äußert und mit Hilfe der Untersuchungsmethoden feststellbar ist. Die Ergebnisse bestätigen aber die von Kappen ausgesprochene Ansicht über den physiologisch sauren Charakter der Sulfate von Kalk und Magnesia.

Diese Veränderungen des Bodens sind auch bei den Untersuchungen des Basenbedarfs zu erkennen. Die Ergebnisse zeigt Übersicht 3.

Übersicht 3.

Basenbedarf des Bodens bei verschiedener Düngung pH (KCl).

		Laugenverbrauch ccm n/10 NaOH auf 100 g Boden											
Nr.	Düngung	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5
1	KN	4,2	4,4	4,7	4,9	5,3	5,8	6,1	6,5	6,8	(7,3)	--	-
2	KNP	4,6	4,9	5,4	5,8	6,3	6,7	7,0	(7,2)	—	-	—	--
3	KN } $CaCO_3$	4,4	4,7	5,1	5,5	6,0	6,3	6,7	7,0	(7,2)	—	---	—
4	KNP } $CaCO_3$	5,1	5,3	5,8	6,2	6,6	7,0	(7,3)	--	—	—	—	
5	KN } $CaSO_4$	4,1	4,4	4,5	4,7	4,9	5,3	5,6	5,9	6,3	6,6	6,9	(7,1)
6	KNP } $CaSO_4$	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	6,6	6,9	(7,2)	-	—	-	—
7	KN } $MgCO_3$	4,1	4,3	4,5	4,8	5,1	5,5	5,8	6,2	6,5	6,7	7,0	(7,2)
8	KNP } $MgCO_3$	4,8	4,9	5,4	5,8	6,2	6,5	6,8	7,0	(7,2)	—	--	—
9	KN } $MgSO_4$	4,1	4,4	4,6	4,7	4,9	5,2	5,5	5,9	6,2	6,4	6,7	7,0
10	KNP } $MgSO_4$	4,3	4,5	4,7	5,0	5,3	5,7	6,2	6,5	6,8	7,1	---	—

Hierbei wurde nach dem Vorschlage von Goy und Roos (13) zu 40 g Boden solange 0,1 n NaOH in Mengen von je 1 ccm zugegeben, bis eine Reaktion des Bodens von pH 7,0 erreicht wurde. Die verbrauchte Laugenmenge, berechnet auf 100 g Boden, gilt als Basenbedarf des Bodens.

Die günstige Wirkung der basischen Kalkformen in $CaCO_3$ und Thomasmehl tritt sehr deutlich hervor, der Laugenverbrauch ist hier am geringsten. Sehr groß ist dagegen der Basenbedarf des Bodens bei Düngung mit $CaSO_4$: während der Boden ohne Gips (Nr. 1) einen Laugenverbrauch von rund 21 ccm aufweist, um die neutrale Reaktion zu erreichen, werden bei Gipsdüngung (Nr. 5) etwa 27 ccm benötigt. Durch die basische Wirkung des Kalks im Thomasmehl wird bei Phosphorsäuredüngung das

Basenbedürfnis bis auf einen Laugenverbrauch von 16 ccm herabgedrückt, d. h. die ungünstige Wirkung ist vollständig wieder aufgehoben worden. Auffallend ist die recht ungünstige Wirkung von $MgCO_3$ auf den Basenzustand des Bodens. Der Bedarf beträgt 25 ccm, während er bei der äquivalenten $CaCO_3$-Menge nur 17,5 ccm ausmachte. Diese geringe Wirkung von $MgCO_3$ auf die Verbesserung des Reaktionszustandes des Bodens steht in Übereinstimmung mit den Reaktionszahlen; sie wird weiter bestätigt durch den Basenbedarf des Bodens bei PKN-Düngung (Nr. 8) mit 17,5 ccm, während unter den gleichen Bedingungen die äquivalente $CaCO_3$-Menge (Nr. 4) einen Basenbedarf von 12,5 ccm aufweist. Am schlechtesten schneidet wieder $MgSO_4$ ab mit einem Basenbedarf von 27,5 ccm. Der basisch wirksame Kalk der P-Düngung reicht in diesem Falle nicht aus, um den Boden auf den ursprünglichen Reaktionszustand zurückzubringen. In Abb. 1 ist der Basenbedarf des Bodens bei den verschiedenen Düngungsmaßnahmen dargestellt, daraus sind die Unterschiede sehr deutlich zu erkennen.

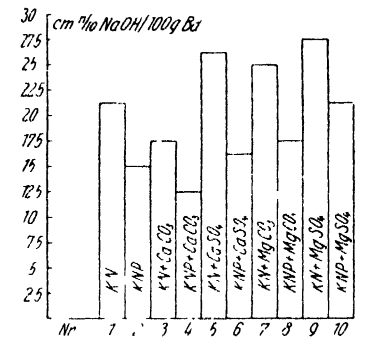


Abb. 1 Basenbedarf des Bodens.

Somit bestätigen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse über den Basenbedarf des Bodens bei verschiedener Düngung die Aziditätsbestimmungen insofern, als $CaSO_4$ und $MgSO_4$ als physiologisch saure Düngemittel anzusehen sind und damit den Basenbedarf des Bodens steigern. Beim Gips gelang es, durch die basische Wirkung des Kalks im Thomasmehl den ungünstigen Einfluß zu mildern und darüber hinaus den Reaktionszustand des Bodens noch zu verbessern. In Übereinstimmung mit den früheren Untersuchungen darf also gesagt werden, daß die Anwendung von Gips als Düngemittel mit Vorsicht zu geschehen hat und nur auf gut mit Kalk versorgten Böden angebracht ist. Im allgemeinen sollte bei den heutigen Reaktionsverhältnissen der Böden den basisch wirkenden Kalk- und Magnesiaverbindungen der Vorzug gegeben werden.

Neben den Bodenuntersuchungen wurde auch die Düngewirkung der Ca- und Mg-Salze auf die Pflanze verfolgt. Die Ernteergebnisse sind in Übersicht 4 zusammengestellt.

Zunächst fällt bei diesen Ergebnissen auf, daß der Boden sehr stark auf Phosphorsäure reagiert hat, wie dies auch Abb. 2 zeigt. Die Entwicklung der mit Volldüngung versehenen Pflanzen war sehr gut, Säureschäden wurden nicht bemerkt. Wie die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen gezeigt haben, ist der Reaktionszustand des Bodens zwar durch den Kalk der Phos-

Übersicht 4.

Erträge eines Düngungsversuches mit Ca- und Mg-Salzen.
Versuchspflanze Gerste.

	Düngung	Korn g	Stroh g	Gesamt g
1	KN	1,2	4,6	5,8
2	KNP	25,1	31,4	56,5
3	KN } $\cdot CaCO_3$	2,8	7,1	9,9
4	KNP } $\cdot CaCO_3$	26,3	33,2	59,5
5	KN } $CaSO_4$	0,8	3,8	4,6
6	KNP } $CaSO_4$	23,2	32,1	55,3
7	KN } $MgCO_3$	2,6	5,8	8,4
8	KNP } $MgCO_3$	24,9	34,4	59,3
9	KN } $MgSO_4$	0,9	3,5	4,4
10	KNP } $MgSO_4$	19,5	32,7	52,2

phorsäuredüngung verbessert worden, doch sind die durch die Bodenuntersuchung festgestellten Veränderungen nicht so groß, daß sie eine derartig starke Wirkung der Düngung erwarten ließen. Es ist hier wieder der Fall eingetreten, den Kappen (14) schon erwähnte, daß kleine Mengen basischer Stoffe in manchen Düngemitteln enorm hohe Wirkungen auszuüben vermögen, wenn auch diese in der Ernte feststellbaren Wirkungen infolge der Unvollkommenheit unserer Untersuchungsmethoden im

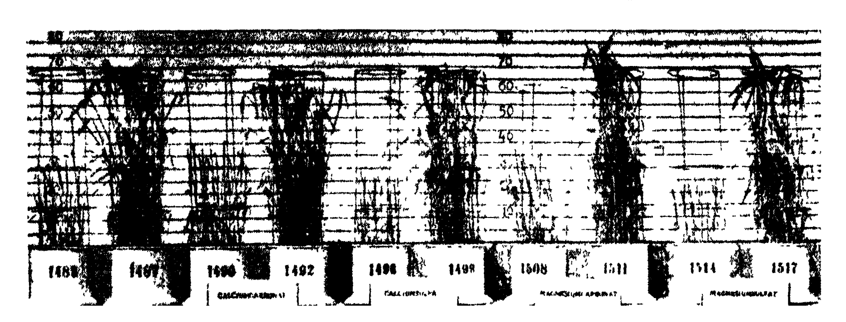


Abb. 2. Düngewirkung von Kalk- und Magnesiasalzen zu Gerste.

Boden selbst nicht in dem Maße zu beobachten sind. Daß es sich hier im übrigen in erster Linie um eine Phosphorsäurewirkung handelt, geht daraus hervor, daß die starke P-Wirkung

Übersicht 5. %-Gehalt der Ernten an Basen und

Nr.	Düngung	Korn					
		Asche	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	Asche
2	KNP	1,94	0,41	0,22	0,54	0,125	5,78
4	KNP + $CaCO_3$	1,92	0,91	0,35	0,54	0,167	5,94
6	KNP + $CaSO_4$	1,89	0,48	0,23	0,47	0,142	6,12
8	KNP + $MgCO_3$	2,11	0,66	0,35	0,61	0,117	6,45
10	KNP + $MgSO_4$	2,60	0,86	0,30	0,60	0,125	6,55

in sämtlichen Fällen auftritt, auch dort, wo durch $CaCO_3$- und $MgCO_3$-Düngung die Kalkwirkung des Thomasmehls weitgehend ausgeschaltet wurde.

Die Wirkung der Kalk- und Magnesiaverbindungen erscheint nicht groß, doch tritt bei der KN-Düngung die gute Wirkung der basischen Verbindungen und die ungünstige der SO_4-Verbindungen deutlich hervor. Vor allem ist das Verhalten der Sulfate interessant, da sie das Ergebnis vermindern, obgleich sie „neutral" sind, also den Boden weder nach der basischen noch nach der sauren Seite hin verändern sollen. Die Bodenuntersuchungen haben aber gezeigt, daß sie unter dem Einfluß der Vegetation eine saure Wirkung ausüben. Die Ertragsfeststellungen der mit PKN gedüngten Pflanzen bestätigen, daß die Karbonate eine, wenn auch geringe, günstige Wirkung, die Sulfate dagegen eine deutlich vermindernde Wirkung ausgeübt haben. Besonders bei $MgSO_4$ tritt dies stärker hervor. Es steht dies in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchungen. Die im Thomasmehl gegebene Basenmenge hat offenbar ausgereicht, die günstigsten Bedingungen für das Wachstum der Gerste zu schaffen, so daß selbst die Zudüngung von basisch wirksamem Kalk und Magnesia den Ertrag nicht wesentlich zu steigern vermochte.

Die günstige oder ungünstige Einwirkung der Ca- und Mg-Düngung in ihren beiden Formen tritt noch deutlicher hervor, wenn man die ohne diese Düngung (Nr. 2) erzielten Erträge an Korn und Stroh = 100 setzt. Man erhält dann folgende Verhältniszahlen:

Düngung	Korn	Stroh
KNP	100	100
KNP + Ca CO_3	105	106
KNP + Ca SO_4	92	102
KNP + Mg CO_3	100	109
KNP + Mg SO_4	78	104

Korn und Stroh zeigen hiernach beträchtliche Unterschiede: bei Korn ist ganz eindeutig die ungünstige Wirkung der Sulfate zu beobachten, während bei Stroh keine Schädigung eingetreten ist. Daraus ergibt sich, daß die Sulfate sich in erster Linie ungünstig auf das Korn auswirken können, während das Stroh nicht davon betroffen wird. Bei dem geringen Bedarf des Getreidekorns an SO_4 bzw. S und dem verhältnismäßig viel

Säuren (berechnet auf absolute Trockensubstanz).

Stroh				In der Gesamternte (g)				
CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	Asche	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3
0,78	0,50	0,068	0,858	2,302	0,348	0,212	0,156	0.301
0,86	0,54	0,070	0,708	2,477	0,524	0,271	0,165	0,279
0,82	0,51	0,055	0,733	2,402	0,374	0,217	0,127	0,268
1,02	0,57	0,094	0,733	2,744	0,515	0,283	0,184	0,282
0,76	0,51	0,073	0,908	2,649	0,416	0,226	0,141	0,322

höheren des Strohs daran könnte die Schädigung auf eine Überdüngung mit SO_4 zurückzuführen sein, wenn nicht die Veränderung der Bodenreaktion in der Hauptsache dafür verantwortlich zu machen ist. Soviel ist jedenfalls sicher, daß das Korn empfindlicher ist als das Stroh.

Diese wenn auch scheinbar geringen, so doch deutlich nachweisbaren Unterschiede veranlaßten uns zu einer Untersuchung der Ernte auf ihren Gehalt an Basen und Säuren. Neben der Reinasche wurden CaO, MgO sowie P_2O_5 und SO_3 bestimmt. Diese Untersuchungen konnten sich auf die mit Volldüngung erhaltenen Pflanzen beschränken, da bei der Mangeldüngung anormale Verhältnisse vorlagen. Die Ergebnisse sind in Übersicht 5 enthalten.

Aus diesen Zahlen ist folgendes zu entnehmen: Der Phosphorsäuregehalt von Korn und Stroh ist bei $CaSO_4$-Düngung am geringsten, er wird aber durch die Beidüngung mit Mg-Salzen deutlich gesteigert. Der MgO-Gehalt selbst ändert sich nur wenig, was bei dem an sich recht hohen Gehalt der Pflanzen daran auch nicht zu erwarten ist. Doch scheint die Steigerung des Phosphorsäuregehaltes die bekannten Zusammenhänge zwischen Magnesia und P-Aufnahme zu bestätigen. Von dem durch die Mg-Düngung hervorgerufenen Einfluß ist auch der Aschengehalt betroffen worden, der sowohl bei Korn wie auch bei Stroh eine merkliche Erhöhung aufweist. Bei der Düngung mit $CaCO_3$ hat sich nur bei Korn eine verstärkte Ca-Aufnahme gezeigt, einen verhältnismäßig hohen CaO-Gehalt weist das Korn auch bei $MgSO_4$-Düngung auf.

Aus den Bestimmungen des SO_3-Gehaltes von Korn und Stroh läßt sich keine Schlußfolgerung ziehen. Bemerkenswert ist dagegen das Verhältnis von P : S, wie nachfolgende Übersicht 6 zeigt:

Übersicht 6.

P/S-Verhaltnis in der Ernte.

Düngung	Korn			Stroh		
	% P	% S	P : S	% P	% S	P : S
KNP	0,236	0,050	1 : 0,21	0,030	0,344	1 : 11,5
KNP + $CaCO_3$	0,236	0,067	1 : 0,28	0,031	0,284	1 : 9,2
KNP + $CaSO_4$	0,205	0,057	1 : 0,28	0,024	0,294	1 : 12,2
KNP + $MgCO_3$	0,266	0,047	1 : 0,18	0,041	0,294	1 : 7,2
KNP + $MgSO_4$	0,262	0,050	1 : 0,19	0,032	0,364	1 : 11,4

Während das Verhältnis P : S im Korn ziemlich konstant ist und nur durch die Mg-Salze infolge vermehrter P-Aufnahme beeinflußt wird, tritt beim Stroh eine merkliche Veränderung ein, sobald $CaCO_3$ und $MgCO_3$ gegeben werden. Die angegebenen Prozentzahlen zeigen, daß bei gleichem S-Gehalt die P-Aufnahme durch Beigabe der basisch wirkenden Karbonate erhöht worden ist. Da aber das Zahlenmaterial für irgendeine Ausdeutung zu gering ist, soll hier nur darauf hingewiesen werden.

Der vorher schon bemerkte Einfluß der SO_4-Verbindungen

Übersicht 7.
Gehalt der Asche an Nährstoffen.

Düngung	Korn				Stroh				In der Gesamternte			
	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	SO_3 %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	SO_3 %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	SO_3 %
KNP	27,8	21,1	11,3	6,4	1,18	13,5	8,6	14,8	6,8	15,1	9,2	13,1
KNP+$CaCO_3$	28,1	47,4	18,2	8,7	1,18	14,5	9,1	11,9	6,7	21,2	10,9	11,3
KNP+$CaSO_4$	24,9	25,4	12,2	7,5	0,90	13,4	8,3	12,0	5,3	15,6	9,0	11,2
KNP+$MgCO_3$	28,9	31,3	16,6	5,5	1,46	15,8	8,8	11,4	6,7	18,8	10,3	10,3
KNP+$MgSO_4$	23,1	33,1	11,5	4,8	1,11	11,6	7,8	13,9	5,3	15,7	8,5	12,1

auf die Erträge und den Gehalt der Ernte an Phosphorsäure tritt noch deutlicher hervor, wenn man die Ergebnisse der Analysen auf die Asche umrechnet, wie dies in Übersicht 7 geschehen ist.

Besonders beim Korn wird der Anteil an Phosphorsäure in der Asche durch die SO_4-Verbindungen herabgesetzt, bei $MgSO_4$ tritt dies im Gegensatz zu den Zahlen der Übersicht 4 jetzt klar hervor, während die basischen Verbindungen den Phosphorsäuregehalt fast unverändert lassen, zumindest nicht herabsetzen. Auch der Anteil an MgO wird durch die Karbonate beim Korn erhöht, während beim Kalk nur im Stroh eine leichte Veränderung des Anteils an der Asche durch die basischen Düngemittel eingetreten ist. Bei den durch die Gesamternte aufgenommenen Nährstoffmengen wirken sich diese beim Korn und Stroh verschiedenen Einflüsse entsprechend aus.

Die vorliegenden Untersuchungen der Ernte haben jedenfalls gezeigt, daß die Sulfate von Ca und Mg ungünstig auf den P_2O_5-Gehalt von Korn und Stroh eingewirkt haben. Auch bei anderen Versuchen haben wir bemerkt, daß der P_2O_5-Gehalt in der Pflanze durch SO_4 vermindert wird. Durch Mg-Düngung konnte dagegen der P_2O_5-Gehalt des Korns gesteigert werden. Die basisch wirkenden Formen $CaCO_3$ und $MgCO_3$ haben sich im allgemeinen als günstig für die Aufnahme der Mineralbestandteile erwiesen.

Zusammenfassung.

Die Untersuchungen über die Einwirkung einer Düngung von $CaCO_3$, $CaSO_4$ und $MgCO_3$, $MgSO_4$ auf Boden und Pflanze ergaben folgendes:

1. Die chemisch neutrale Reaktion der Sulfate wird unter dem Einfluß der Vegetation in eine physiologisch saure verändert; die gefundenen Ergebnisse stimmen mit den übrigen Angaben anderer Autoren überein. Der Basenbedarf des Bodens wurde bei Düngung mit $CaSO_4$ und $MgSO_4$ größer, bei Düngung mit den entsprechenden Karbonaten geringer.

2. Obgleich, wie die Erträge zeigten, für das Pflanzenwachstum infolge der basischen Phosphorsäuredüngung keine ungünstigen Verhältnisse vorlagen, wurde der Kornertrag der Gerste durch die Sulfate herabgesetzt, während der Strohertrag unverändert blieb.

3. Die Untersuchung der Ernte ergab, daß die Sulfate die Phosphorsäureaufnahme beeinträchtigten, während durch Magnesia die Phosphorsäureaufnahme gesteigert wurde.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß eine besondere Zufuhr von SO_4, z. B. in Form von Gips, nicht immer wünschenswert ist. Der schwefelsaure Kalk steht in seiner Wirkung dem Kalkkarbonat und dem Ätzkalk sehr nach. Eine unmittelbare Wirkung ist nur zu erwarten, soweit Kalksulfat im Wasser löslich ist, und diese Löslichkeit ist sehr gering. Im übrigen muß das Kalksulfat sich erst im Boden zersetzen; dabei besteht dann immer noch die vielleicht nicht große Gefahr, daß Schwefelsäure frei wird, welche auf Boden und Pflanze ungünstig wirkt. Die mittelbare Wirkung des Kalksulfats auf die Bodenbeschaffenheit kann nicht wesentlich sein, wenn man von der aufschließenden Wirkung der freigewordenen Schwefelsäure auf die Bodenbestandteile absieht (15). Nur dort, wo ausnahmsweise einmal ein ausgesprochener SO_4- bzw. S-Mangel vorhanden sein sollte, wird vielleicht eine Gipsdüngung notwendig sein. Magnesiumsulfat sollte wie bisher dort verwendet werden, wo es gilt, Mg-Mangel zu bekämpfen. Ganz allgemein spielt die Frage der SO_4- bzw. S-Versorgung der deutschen Böden praktisch keine Rolle, da meist genügend Sulfate in den Boden gelangen. Bei dem herrschenden, vielfach recht ungünstigen Reaktionszustand der Böden muß der basisch wirksamen Form von Kalk und Magnesia der Vorzug gegeben werden.

Schrifttum.

1. Scholz: Pflanzennährstoffe, welche der Landwirt seinen Pflanzen in der Düngung nur unbewußt oder überhaupt nicht gibt. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, B, **13,** 1934, 12.
2. Hager: Die indirekte Düngung. In Blanck, Handbuch der Bodenlehre, **9,** 282.
3. Windheuser u. Jessen: Repetitorium der Agrikulturchemie S. 117. E. Ulmer-Stuttgart, 1926.
4. Pfeiffer, Th.: Fühlings landw. Zeitung Stuttgart 1916, 193.
5. Gerlach: Über die Düngung mit Schwefel. Mitt. DLG. Berlin, **36,** 1921, 726.
6. Nolte, O. u. Leonhards: Die Düngung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit Schwefel. Ebenda. **38,** 1923, 248.
7. Scholz: a. a. O. S. 15.
8. Jessen, W.: Pflanzenernahrung S. 68 in Agrikulturchem. Repetitorium, Eugen Ulmer, 1926.
9. Nolte O.: Neues über Dünger u Düngung. Mitt. DLG. Berlin, **41,** 1930, 1068.
10. Kappen, H.: Über die ertragssteigernde Wirkung kleiner Mengen basischer Stoffe auf sauren Böden. Deutsche Landw. Presse, Berlin, **60,** 1933, 547.
11. Lemmermann, O.: Die Wirkung einer neutralen, sauren und basischen Düngung auf die Reaktion des Bodens und die Höhe der Ernte. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, Berlin, A, **26,** 1932, 284.
12. Kappen, H.: Die Bodenazidität. Springer, Berlin, 1929, S. 277.
13. Goy u. Roos: Über den Ausbau der elektrometrischen Bodentitration. Z. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **2,** (47), 1937, 166.
14. Kappen, H.: Über die ertragssteigernde Wirkung kleiner Mengen basischer Stoffe auf sauren Böden. Die Phosphorsäure, Berlin, **3,** 1933, 756.
15. Haselhoff, E.: Düngemittellehre, S. 192. E. Bornträger, 1928.

Praktische Durchführung der Arbeit zur Verdrängung der austauschfähigen Basen aus dem Bodenkomplex nach der Wasserdampfmethode.

Bestimmung von $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$.

Von **Christ. Vassiliades.**

Aus dem Bodenkundlichen Laboratorium, Athen (Griechenland).

Eingegangen: 7. Februar 1939.

Bei unseren bisherigen Arbeiten haben wir die Wasserdampfmethode zur Verdrängung der absorbierten Kationen ($Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, $Na^{\cdot}$) aus den Bodenkolloiden mittels Durchleitens von Wasserdampf während 5—10 Minuten durchgeführt (1).

Da wir einerseits zur Beschleunigung des Ganges einige Abänderungen gemacht haben, andererseits bis jetzt über die Verdrängung des absorbierten Kaliums nichts mitgeteilt wurde, möchten wir hier die ganze praktische Durchführung der Arbeit und auch die schnellen Methoden zur Bestimmung der verdrängten Kationen mit allen Einzelheiten, die wir aus der Erfahrung gewonnen haben, schildern.

Das Prinzip der Wasserdampfmethode besteht darin, daß man die Verdrängung der absorbierten Kationen aus dem Bodenkomplex beschleunigen kann, indem man Wasserdampf 5—10 Minuten in den Boden leitet, der in einer NaCl-Lösung zur Verdrängung des $Ca^{\cdot\cdot}$ und $Mg^{\cdot\cdot}$, oder in $BaCl_2$-Lösung zur Verdrängung des $Na^{\cdot}$ und $K^{\cdot}$ verteilt ist. Zweitens gelingt es dadurch, bei $CaCO_3$-haltigen Böden die Löslichkeit des $CaCO_3$ auf ein Minimum niederzudrücken. Die Menge des aus dem $CaCO_3$ stammenden Kalziums übersteigt nicht die ungefähr 2 Milliäquivalent je 100 g Boden, die wir auch bestimmen können.

Wasserdampferzeugungsapparatur.

Zur Wasserdampferzeugung kann man irgendeine Apparatur verwenden, die zur Verfügung steht. In der Abb. 1 wird die Apparatur aus Blech dargestellt.

Verdrängung von $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$. Zur Verdrängung des $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ brauchen wir 2 n NaCl-Lösung: (117 g NaCl ‰): wir wiegen 10 g Boden (bei humusreichen 5 g) ab und nach dem Auswaschen der leichtlöslichen Salze mit 80% Alkohol (200—250 ccm Filtrat sind genügend) nehmen wir vorsichtig das den ausgewaschenen Boden enthaltende Filter, entfalten es und füllen mit Hilfe einer Spritzflasche, die warme 2 n NaCl-Lösung (117 g NaCl ‰) enthält, den Boden in ein Becherglas von 400 ccm Inhalt. Der Inhalt des Becherglases von ungefähr 150 ccm muß vorher durch Fettstift-Strich bezeichnet werden. Das Becherglas soll hoch und schmal sein, damit wir einen Verlust beim Durchleiten der Wasserdämpfe durch Verspritzen vermeiden.

Eventuelle Bodenteilchen, die dem Filter anhaften, lösen wir mit einem Glasstab, der mit Gummi versehen ist, ab. Nachdem wir den Boden mit möglichst wenigen ccm NaCl-Lösung überführt haben, füllen wir das Becherglas auf ungefähr 150 ccm mit derselben heißen Lösung auf und leiten sofort 5—10 Minuten Wasserdampf ein, (es ist zweckmäßig, nach der Auffüllung auf

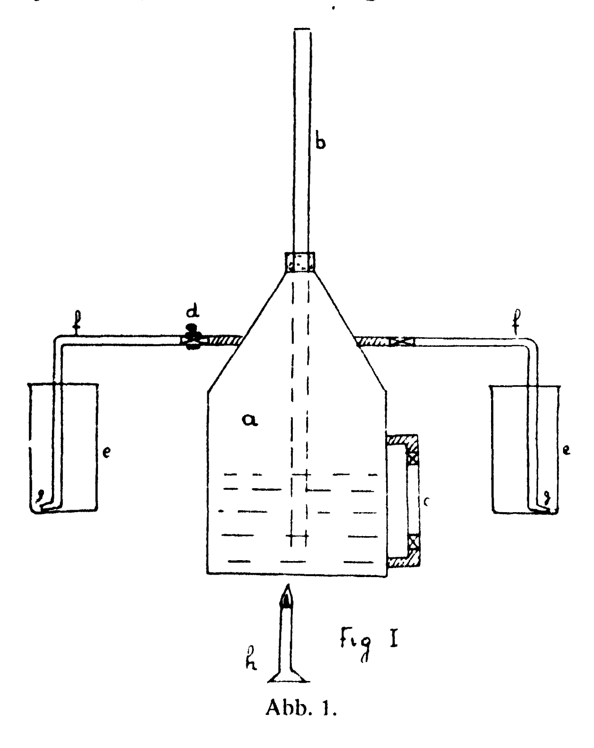


Abb. 1.

a = Wasserdampferzeugungsapparatur zur Behandlung gleichzeitig zweier Bodenproben: enthält destilliertes Wasser.
b = Glasrohr, das zur Beobachtung des Dampfdruckes dient.
c = Wasserstandmesser.
d = Quetschhahn zur Regelung einer gleichmäßigen Wasserdampfzufuhr in die beiden Bechergläser (e).
e = Bechergläser, 400 ccm Inhalt, die die Mischung, Boden und NaCl-Lösung für die Verdrängung des $Ca^{\cdot\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$ oder $BaCl$-Lösung für die Verdrängung des $Na^{\cdot}$, $K^{\cdot}$ enthalten.
f = gläserne Rohre, durch die die Wasserdämpfe in die Bechergläser geleitet werden: innerer Durchmesser ungefähr 4 mm, der in der Spitze (g) ungefähr bis zu 2,5 mm verengt wird.

ungefähr 150 ccm mit der warmen NaCl-Lösung sofort Wasserdämpfe einzuleiten, um eine größere Wasserdampf-Kondensierung zu vermeiden).

Wir fangen an, die Zeit zu messen, nachdem die Mischung durch die Wasserdämpfe sich merklich zu rühren beginnt. Durch Verkleinerung oder Vergrößerung der Flamme des

Bunsenbrenners (h) regeln wir die Dampfzufuhr so, daß ein gleichmäßiges und nicht sehr starkes Aufrühren stattfindet. Beim Wasserdampfdurchleiten schwenken wir öfter das Becherglas um, damit wir ein gründliches Aufrühren des Bodens erzielen (4—5 Umschwenkungen während der 5—10 Minuten sind genügend). Wie in der Abb. 1 dargestellt wird, können wir gleichzeitig zwei Bodenproben behandeln. Die beste Arbeitsweise zum Vermeiden von Verlusten durch Verspritzen und Aufrühren ist, daß man das gebogene Ende (g) des Rohres (f), anstatt im Zentrum, am Rand des Bechers einführt.

Nach Verlauf von 5—10 Minuten verkleinern wir zuerst die Flamme des Brenners (h), nehmen das Glasrohr aus dem Becherglas heraus, spülen es mit wenigen ccm NaCl-Lösung aus und lassen das Ganze sich abkühlen. Wir können ebenfalls durch Eintauchen des Becherglases in kaltes Wasser das Abkühlen beschleunigen. Nach dem Erkalten überführen wir das Ganze in einen Meßkolben von 250 ccm Inhalt mit Hilfe einer Spritzflasche, die 2 n NaCl-Lösung enthält, füllen bis zur Marke mit derselben Lösung auf, mischen gut durch und filtrieren: Filtrat (A).

Kalziumbestimmung: Vom Filtrat (A) nehmen wir 50 ccm (2 g Boden) und bringen sie in ein Becherglas von 250 ccm Inhalt, verdünnen auf 120—150 ccm mit destilliertem Wasser, setzen 20—30 ccm gesättigte NH_4Cl-Lösung hinzu, neutralisieren mit Ammoniak bis zur Blaufärbung des Indikators (Indikator Bromthymolblau) und säuern mit verdünnter Essigsäure bis zur hellen Gelbfärbung an. Wir erhitzen zum Kochen und fügen dann tropfenweise 25 ccm gesättigtes heißes Ammonoxalat hinzu, wobei wir mit einem Glasstab gut durchrühren. Nach 3—4 stündigem Stehen auf dem Wasserbad filtrieren wir durch einen Glasfiltertiegel (G 4) und waschen mit kleinen Portionen heißem Wasser Becherglas und Glasfiltertiegel. (Drei Waschungen des Becherglases und drei des Glasfiltertiegels sind genügend).

Dann nehmen wir den Glasfiltertiegel, spülen den unteren äußeren Teil mit heißem Wasser zur Entfernung eventueller Tropfen von oxalathaltigem Filtrat aus und füllen mit Hilfe der Spritzflasche, die Wasser enthält, den meisten Niederschlag in das Becherglas, in dem die Fällung durchgeführt wurde.

Dann setzen wir auch den Glasfiltertiegel in dasselbe Becherglas hinein. Nun fügen wir Wasser hinzu, bis der Glasfiltertiegel bedeckt ist und danach 5 ccm konzentrierte H_2SO_4. Wir erhitzen auf 70—80^0 (Durchrühren mit dem Glasstab zur Lösung des Niederschlages) und filtrieren mit n/20 $KMnO_4$.

$$1 \text{ ccm n/20 } KMnO_4 = 0{,}001 \text{ g Ca.}$$

Dann wird die gefundene Kalziummenge auf 100 g Boden bezogen. Das ist die totale Ca-Menge:

Absorbiertes Ca = totales Kalzium — Kalzium von $CaCO_3$.

Das von $CaCO_3$ stammende Kalzium bestimmen wir wie folgt:

Bestimmung des von $CaCO_3$ gelösten Kalziums. Vom

Filtrat (A) nehmen wir 50 ccm (2 g Boden) in ein Becherglas oder Erlenmeyer und bestimmen die gebildete Soda mit n/100 HCl oder H_2SO_4 (Indikator: Methylorange).

1 ccm n/100 HCl oder H_2SO_4 = 0,0002 g Ca.

Dann wird auf 100 g Boden bezogen. Das gefundene Kalzium, das wir von der totalen Kalziummenge abziehen, stammt aus dem $CaCO_3$. Die Differenz zeigt die Menge des absorbierten Kalziums an.

Bestimmung des absorbierten Kalziums in gipshaltigen Böden. Im Falle gipshaltiger Böden müssen wir auch das Kalzium des $CaSO_4$, das gelöst worden ist, bestimmen. Zu diesem Zweck bestimmen wir die SO_4'' und berechnen dann das dem SO''_4 entsprechende Kalzium.

Zur Bestimmung der SO''_4 nehmen wir 50 ccm (2 g Boden) vom Filtrat (A) und bringen sie in ein Becherglas von 150 ccm Inhalt, verdünnen auf ungefähr 100 ccm mit destilliertem Wasser, setzen 1 ccm konzentrierte HCl hinzu, erhitzen zum Kochen und fällen die SO''_4 mit 10 ccm heißer $BaCl_2$-Lösung (10%), wie bekannt.

g % $BaSO_4$ × 0,1714 = g Ca %

in diesem Falle haben wir:

% absorbiertes Kalzium = % totales Kalzium — %
(Kalzium von $CaCO_3$ + Kalzium von Gips).

Magnesiumbestimmung. Das Filtrat der totalen Kalziumbestimmung (2 g Boden) wird bis 150—200 ccm eingedampft und dann mit ungefähr 15 ccm konzentriertem Ammoniak versetzt. Nach Erwärmung auf 60—70° (Thermometer!) fügen wir, tropfenweise und unter ständigem Durchrühren, 5—6 ccm einer 4%igen alkoholischen Oxychinolin-Lösung hinzu. Das Magnesium wird als Magnesiumoxychinolat $(C_9H_7 \cdot ON)_2Mg$ gefällt (2). Zur vollständigen Fällung des Magnesiums erhalten wir die Temperatur ungefähr noch 10 Minuten auf 60—70°. — Dann wird die Temperatur allmählich bis zum beginnenden Sieden gesteigert. Nach etwa einstündigem Stehen filtrieren wir durch einen gewogenen Glasfiltertiegel und waschen mit heißem, schwach ammoniakalischen Wasser aus (5—6 Waschungen des Glasfiltertiegels sind genügend). Der Niederschlag wird bei 100—105° getrocknet und gewogen. Dann wird auf 100 g Boden bezogen.

mg Niederschlag × O, 1158 = mg MgO
mg Niederschlag × O, 0698 = mg Mg.

Verdrängung von Na˙ u. K˙. Zur Verdrängung brauchen wir n/1 $BaCl_2$-Lösung: 122 g $BaCl_2 + 2H_2O$ ‰ alkalifrei.

Die Durchführung des Ganges ist genau dieselbe, wie bei der Verdrängung von Ca˙˙ und Mg˙˙, nur mit dem Unterschiede, daß wir hier statt NaCl-Lösung n/1 $BaCl_2$-Lösung für die Verdrängung des Na˙ und K˙ verwenden.

Zusammenfassend wird der Gang wie folgt durchgeführt: Wir wiegen 10 g Boden ab und füllen nach dem Auswaschen mit ungefähr 80%igem Alkohol den Boden mit Hilfe

der Spritzflasche, die heiße normale $BaCl_2$-Lösung enthält, in das 400 ccm-Becherglas, füllen es auf ungefähr 150 ccm mit derselben heißen Lösung auf und leiten 5—10 Minuten Wasserdampf ein. (Einzelheiten siehe Verdrängung von Ca, Mg).

Nach Verlauf von 5—10 Minuten und Abkühlen wird das Ganze in einen Meßkolben von 250 ccm überführt; wir füllen bis zur Marke mit der gleichen $BaCl_2$-Lösung auf, mischen gut durch und filtrieren.

Bestimmung von $Na^{\cdot}$ und $K^{\cdot}$. Vom klaren Filtrat nehmen wir 200 ccm und bringen sie in ein trockenes Becherglas von 400 ccm Inhalt, erwärmen auf 50—60°, löschen den Brenner aus, setzen gleich genau 10 ccm Ammoniak (10—12%ig) und danach genau 90 ccm 2 n $(NH_4)_2CO_3$-Lösung (96‰ $(NH_4)_2CO_3$ pro analysi), rühren gut mit einem Glasstab durch und filtrieren in ein trockenes Becherglas. Vom kalten Filtrat werden 150 ccm in eine Quarz- oder Platinschale gebracht, wir setzen ungefähr 0,5 g Oxalsäure (pro analysi) hinzu, dampfen auf dem Sandbad bis zum Trocknen ein, glühen schwach zum Verjagen der Ammoniaksalze und fügen nach Abkühlung genau 15 ccm Wasser hinzu, rühren gut mit einem Glasstab, der mit Gummi versehen ist, durch und filtrieren durch ein kleines Filter in ein trockenes Reagensglas. Vom Filtrat nehmen wir 7,5 ccm (2 g Boden) in ein Becherglas von 50 ccm Inhalt, zur Natriumbestimmung und 5 ccm in ein Zentrifugenglas zur Kalibestimmung. (Siehe unten.)

Natriumbestimmung. Das Becherglas, das die 7,5 ccm enthält, wird auf dem Wasserbad bis zum Trockenen verdampft, danach setzen wir 2 ccm Wasser hinzu und fällen das Natrium, als $NaMg(UO_2)_3(CH_3COO)_9 + 6H_2O$, mit 30—40 ccm des unten beschriebenen Fällungsreagenses. Wir rühren hierauf mit einem Glasstab gut durch, lassen über Nacht stehen, filtrieren durch einen gewogenen Glasfiltertiegel (G 4), waschen einmal mit dem Reagens, dann mit 96%igem Alkohol aus (4—5 Waschungen des Glasfiltertiegels genügen), trocknen 2—3 Stunden bei 110 bis 120° und wiegen.

$$\text{mg Niederschlag} \times 0{,}0153 = \text{mg Na}$$
$$\text{mg Niederschlag} \times 0{,}0207 = \text{mg } Na_2O.$$

Dann wird auf 100 g Boden bezogen.

Das Fällungsreagens wird durch Mischung gleicher Teile folgender Lösungen A + B hergestellt (3).

Lösung A		Lösung B	
Uranylazetat	100 g	Magnesiumspäne	60 g
Eisessig	60 g	Eisessig	356 g
Wasser	1000 g	Wasser	1000 g

Kalibestimmung. Dem Zentrifugenglas, das die 5 ccm enthält, werden 5 ccm des unten beschriebenen Kobaltreagenses hinzugefügt und über Nacht stehen gelassen. Der entstandene Niederschlag von $K_2NaCo(NO_2)_6$ wird zentrifugiert. Danach wird die überstehende Flüssigkeit durch ein Filterstäbchen abgesaugt

und mit 2 ccm Wasser der Niederschlag aufgerührt (das Filterstäbchen bleibt im Zentrifugenglas). Hierauf wird wieder zentrifugiert und wieder abgesaugt. Das Auswaschen mit 2 ccm destilliertem Wasser wird noch zweimal wiederholt.

Nun fügen wir 10 ccm n/100 $KMnO_4$ und 2—3 ccm H_2SO_4 (1 : 3) hinzu, ohne das Filterstäbchen herauszunehmen. Das Zentrifugenglas wird im Wasserbad erhitzt, als Wasserbad kann ein Becherglas dienen. Wir rühren mit einem Glasstab um, bis der Niederschlag gelöst wird. Im Falle der Entfärbung fügen wir gleich noch einige ccm n/100 $KMnO_4$-Lösung hinzu. Danach setzen wir n/100 Oxalsäure oder Natriumoxalatlösung bis zur Entfärbung hinzu und titrieren mit n/100 $KMnO_4$ bis zur Rosafärbung.

Berechnung:

Totale ccm n/100 KMnO − ccm n/100 $Na_2C_2O_4$ = a
a × 75 × 0,0705 = mg K %
a × 75 × 0,085 = mg K_2O %
(1 ccm n/100 $KMnO_4$ = 0,0705 mg K)
(1 ccm n/100 $KMnO_4$ = 0,085 mg K_2O).

Herstellung des Kobaltreagenses nach Kramer und F. F. Tisdall.

Lösung A: 25 g $Co(NO_3)_2$ werden in 50 ccm Wasser gelöst und der Lösung 12,5 ccm Eisessig zugesetzt.

Lösung B: 120 g $NaNO_2$ werden unter gelindem Erwärmen in 180 ccm Wasser gelöst; dann läßt man erkalten.

8 ccm der Lösung (A) werden vermischt mit 24 ccm der Lösung (B), dann wird 2–3 Stunden ein kräftiger Luftstrom hindurchgeleitet. Das Reagens ist vor dem Gebrauch zu filtrieren. Es ist im Eisschrank ungefähr 1 Monat haltbar.

Zusammenfassung:

1. Der neue Gang der Methode wird ausführlich mit allen Abänderungen geschildert.

2. Die Wasserdampfmethode ist als Schnell-Methode für Serien-Bodenuntersuchungen geeignet, vor allem im Fall der Bestimmung des austauschfähigen $Ca^{··}$ und $Mg^{··}$ bei $CaCO_3$-haltigen Böden.

3. Die Methode ist besonders bei $CaCO_3$-haltigen Böden mit Vorteil anwendbar, weil in diesem Fall die Menge des vom $CaCO_3$ stammenden Kalziums sehr gering ist, die man vernachlässigen, als auch schnell bestimmen kann.

Schrifttum:

1. Vassiliades, Chr.: Schnellverdrängungsmethode des absorbierten Kalziums u. Magnesiums aus dem Bodenkomplex mit Hilfe von Wasserdampf. Best. von Kalzium u. Magnesium. Pflanzenern. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **33**, 1934, 357—362.
Verdrängungsmethode des adsorbierten Natriums aus dem Bodenkomplex mit Hilfe von Wasserdampf. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, A, **35**, 1934, 257—260.

Bemerkungen zu der Wasserdampfmethode bei Verdrängung der absorbierten Kationen aus dem Bodenkomplex. Bodenkunde u. Pflanzenernährung, Berlin, 3, 5/6, 1937, 334—335.
2. Nehring, K.: Über die Bestimmung des Magnesiums mittels o-Oxychinolin. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, 21, 1931, 300—305.
3. Lemmermann, O.: Methoden für die Untersuchung des Bodens, I u. II, Berlin, 1932/1934. [281]

Die Wirkung von Rohphosphat auf das Wachstum der Holzarten in sauren Waldböden.

Von **W. Jessen.**

Arbeit aus dem Institut fur Forstliche Bodenkunde der Universitat Göttingen, z Zt. Hann.-Munden. Direktor: Prof. Dr. Süchting.

Eingegangen. 25 März 1939.

In der Landwirtschaft besitzen die Rohphosphate als Phosphorsäuredüngemittel keine große praktische Bedeutung. In ihnen befindet sich die Phosphorsäure als Trikalziumphosphat, das im allgemeinen für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen schwer aufnehmbar ist. Die Aufnahme ist wesentlich abhängig von der Art des Rohphosphates, von seinem Feinheitsgrad, vom Boden, von der Pflanzenart, von der Beidüngung und anderen Faktoren. So sind weicherdige Rohphosphate besser verwertbar als harterdige und ausgeprägt kristallinische Phosphate.

Von Einfluß auf die Aufnehmbarkeit ist auch der Boden, besonders seine Reaktion und die Bodenart. Tacke (1) konnte nachweisen, daß bestimmte weicherdige Rohphosphate auf ausgesprochen sauren Hochmoorböden eine gute Aufschließung erfahren und dem Thomasmehl gleichwertig sind. Er befürwortet daher eine möglichst weitgehende Anwendung von Rohphosphat auf Hochmoor. Auf Grund dieser Erfolge untersuchte Kappen (2) die Wirkung von Algier- und Floridaphosphat auf sauren Mineralböden. Er kommt zu dem Ergebnis, daß die sauren Böden infolge ihrer schwachen Säure nur imstande sind, die Rohphosphate in einem geringen Grade aufzuschließen. Erfolge bei Verwendung der Rohphosphate auf sauren Mineralböden sind auf die aufschließende Wirkung der Pflanzen selbst zur Hauptsache zurückzuführen. Es ist wahrscheinlich, daß ein Boden dem Aufschließungsvermögen der Pflanzen einen um so geringeren Widerstand entgegensetzt, je saurer der Boden ist. Kappen kann im allgemeinen nicht zu einer Verwendung von Rohphosphaten auf sauren Mineralböden raten. Er hält es für richtiger, die Bodenazidität durch Kalkdüngung zu beseitigen und dann andere P_2O_5-Dünger, wie Superphosphat und Thomasmehl, zu verwenden. Nach Wityn (3) beruht die Wirkung der sauren Reaktion auf Rohposphate darauf, daß sie infolge ihrer Fähigkeit zur OH-Ionen- und damit zur Basenbindung die sonst nur geringe hydrolytische Aufspaltung des Trikalziumphosphates erhöht.

Das unterschiedliche Verhalten von Pflanzen und Pflanzenarten hinsichtlich der Verwertung von Rohphosphaten ist eine schon lange bekannte Tatsache. Zahlreiche Untersuchungen von Kossowitsch (4), Prjanischnikow (5), M. v. Wrangell (6) u. a. haben dafür eindeutige Beweise erbracht. Nach M. v. Wrangell sind vor allen Dingen kalkliebende Pflanzen im Stande, Phosphorsäure aus schwerlöslichen Kalkphosphaten aufzunehmen. Einen besonderen Hinweis auf das Aufschließungsvermögen der Pflanzen gibt der sogenannte Kalk-Phosphorsäurefaktor.

Der Einfluß der Beidüngung auf die Verwertung der Rohphosphate ist ebenfalls schon lange bekannt und durch Versuche von Prjanischnikow (5),

Söderbaum (7), Pfeiffer (8), v. Wrangell (9) u. a. bewiesen. So wirkt eine physiologisch saure Düngung aufschließend auf schwerlösliche Phosphate, während eine Kalkdüngung eine löslichkeitsvermindernde Wirkung ausübt.

Die umfangreichen Versuche über die Verwertung der Rohphosphate durch verschiedene Pflanzen und durch physiologisch-saure Beidüngungen haben somit die Möglichkeit einer erhöhten Ausnutzung von schwer löslichen P_2O_5-Düngemitteln ergeben. Eine praktische Bedeutung für die Landwirtwirtschaft ist dadurch aber nicht erzielt worden. Es ist allgemein vorzuziehen, auf diese Möglichkeiten zu verzichten und leicht lösliche Phosphate zu verwenden, um sich so unabhängig von der Pflanzenart und der Beidüngung zu machen. Eine Anwendung von Rohphosphat in der Landwirtschaft kommt also praktisch nur für saure Hochmoorböden in Frage.

Vollkommen ungeklärt ist die Frage der Phosphorsäuredüngung wie die Frage der Verwendung von Rohphosphaten in der Forstwirtschaft, da hier die Verhältnisse ganz anders sind als in der Landwirtschaft.

In der Forstwirtschaft gibt es eine große Anzahl von außerordentlich sauren Böden mit beträchtlichen Mengen von sauren Rohhumusauflagen, wie folgende Beispiele zeigen:

Herkunft Forstamt	Geologische Herkunft	Bodenschicht cm	pH (H_2O)	Austausch-Azidität	
				pH (KCl)	auf 100 g Trock.-Subst. n/10 NaOH ccm
Schwalbach	Taunusquarzit	Humus	3,3	2,9	93
		0—5	3,6	3,1	67
Dhronecken (Hunsrück)	Tonschiefer	Humus	4,0	3,0	72
		0 5	4,1	3,1	52
Clausthal-Zellerfeld	Kulmtonschiefer	Humus	3,6	3,1	145
		0—5	3,6	3,4	128
		5—20	4,4	3,9	65
	Kulmgrauwacke	Humus	3,4	2,7	183
		0 - 5	3,2	2,7	128
		5—20	4,1	3,6	89
Kattenbühl (Münden)	Molkenboden	Humus	3,3	2,4	138
		0—15	4,0	3,5	45

Mit großer Wahrscheinlichkeit ist anzunehmen, daß besonders den sauren Humusauflagen, genau so wie den sauren Hochmoorböden, eine besondere Fähigkeit zum Aufschließen von Rohphosphaten zukommt. Aber auch von den Mineralböden selbst ist in vielen Fällen eine aufschließende Wirkung auf schwer lösliche Phosphate zu erwarten. Die von Kappen (2) mit sauren Ackerböden gefundenen Ergebnisse sind auf Waldböden nicht zu übertragen, da diese viel saurer sind. Wie bei den sauren landwirtschaftlich genutzten Böden ist natürlich auch bei den stark sauren Waldböden eine Kalkung des Bodens die Grundlage für andere Düngungsmaßnahmen. Es wird aber in den wenigsten Fällen zweckmäßig und wirtschaftlich möglich sein, durch eine Kalkung die saure Reaktion des Bodens voll-

kommen zu beseitigen. Die Anwendung von zu hohen Kalkgaben ist auch deshalb nicht ratsam, weil die meisten Holzarten eine mittel- bis schwachsaure Reaktion bevorzugen.

So scheinen nach Untersuchungen von H. Süchting, W. Jessen und G. Maurmann (10) Säuregrade von pH (KCl) 4,5—5 für das Wachstum am günstigsten zu sein. Für die Praxis ergibt sich daraus, daß trotz Kalkung sehr viele Böden noch saure Reaktion — meist noch deutliche Austauschazidität — aufweisen werden, so daß auch nach der Kalkdüngung mit einem Aufschließungsvermögen der Böden für Rohphosphate zu rechnen ist.

Die Möglichkeit der praktischen Verwendung von Rohphosphaten würde zunächst allgemein in Unabhängigkeit von der Reaktion des Bodens bei phosphorsäurebedürftigen Waldböden bestehen, wenn die Holzarten ein besonderes Aneignungsvermögen für schwerlösliche Phosphate besitzen würden.

Über die Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden liegen nur sehr wenig Untersuchungen vor, und über das Aufschließungsvermögen der Holzarten ist nichts bekannt. Von den Flächendüngungsversuchen ergab besonders ein Versuch mit Thomasmehl zu Fichte in Owingen, Forstamt Hechingen (Lent 11), eine gute Wirkung der P_2O_5-Düngung. Bei Vegetationsversuchen von H. Süchting (12) wurden in Neubauerschalen bei Kiefer und Lärche durch eine Düngung mit P_2O_5 bei allen untersuchten Waldböden deutliche Mehrerträge erhalten. Sämtliche Böden erwiesen sich somit als phosphorsäurebedürftig. Auch nach chemischen Untersuchungen sind viele Waldböden als phosphorsäurearm zu bezeichnen.

So fand Hackmann (13) niedrige Werte für die lösliche Phosphorsäure; von 130 untersuchten Böden hatten 100 Proben weniger als 10 mg zitronensäurelösliche P_2O_5 auf 100 g Trockensubstanz. Ein etwas günstigeres Ergebnis zeigten Untersuchungen von H. Süchting (12). Von 9 Böden betrug nur bei 6 Proben der Gehalt an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure weniger als 10 mg P_2O_5. Die nach chemischen Methoden erhaltenen P_2O_5-Werte sagen aber nicht viel über die Phosphorsäurebedürftigkeit der Waldböden aus, da diese auch von dem P_2O_5-Bedarf, von der den Pflanzen zur Verfügung stehenden Bodenmenge, von dem Aneignungsvermögen der Holzarten und anderen Faktoren abhängig ist. Über eine Grenzzahl der Bedürftigkeit ist noch sehr wenig bekannt. Němec (14) kommt auf Grund von theoretischen Überlegungen für dreijährig verschulte Fichten zu einer Grenzzahl von 16 mg zitronensäurelöslicher P_2O_5. Eine Versuchsreihe mit 28 verschiedenen Böden ergab eine recht gute Bestätigung dieser durch Berechnung gefundenen Grenzgehaltszahl. Die geringe Anzahl der Untersuchungen reicht selbstverständlich nicht aus, um die Zahl als gesichert zu betrachten; auch sind die Ergebnisse nicht zu verallgemeinern und auf andere Holzarten zu übertragen.

Was das Aneignungsvermögen der Holzarten für schwer lösliche Phosphate anbetrifft, so kann man nach M. v. Wrangell (15) durch deren Kalkphosphorsäurefaktor dafür Anhaltspunkte erhalten. Berechnungen über den Faktor von Holzarten sind anscheinend nicht angestellt worden. Aus Untersuchungen von Manshard (16) über den Nährstoffgehalt der Aschen forstlicher Kulturpflanzen habe ich folgende Faktoren berechnet.

Im Mittel mehrerer Jahre enthielten 100 Teile Reinasche:

Holzarten	CaO %	P_2O_5 %	Moleküle P_2O_5/CaO
a) Nadelhölzer			
Fichte 1—4 Jahre	42,7	16,2	1 : 6,9
Kiefer 1—2 Jahre	19,4	18,2	2,7
Edeltanne 1—4 Jahre	34,3	17,7	5,1
b) Laubhölzer			
Rotbuche 1—4 Jahre	44,4	11,3	9,9
Stieleiche 1—4 Jahre	41,4	10,6	9,9
Roteiche 1—3 Jahre	44,6	12,4	9,2
Esche 1—3 Jahre	32,6	9,7	8,5

Zu ähnlichen Kalkphosphorsäurefaktoren gelangt man, wenn man die Ergebnisse eines Flächendüngungsversuches von H. Süchting und Mitarbeitern (17) auswertet, wie folgende Zahlentafel zeigt:

Pflanze	Alter	Entnahme	Ungedüngt			Volldüngung		
			je Pflanze		Moleküle P_2O_5 CaO	je Pflanze		Moleküle P_2O_5 CaO
			CaO g	P_2O_5 g		CaO g	P_2O_5 g	
Fichte	7 Jahre	März	4,91	1,62	1 . 7,5	5,28	1,69	1 : 7,9
		September	11,15	3,92	7,2	11,50	3,41	8,5
Kiefer	5 Jahre	Marz	1,34	0,77	4,4			
		November	3,78	2,33	4,1			
Lärche	5 Jahre	März	0,46	0,65	1,8	0,30	0,36	2,1
		September	4,98	5,73	2,2	3,25	3,67	2,2

Demnach ist der genannte Faktor bei der Lärche klein, bei der Kiefer mittel und bei der Fichte sowie den Laubhölzern größer. Die Kalkphosphorsäurefaktoren der Holzarten ändern sich sehr stark durch die Düngung,

So wurden sie bei einem Vegetationsversuch von H. Süchting und Mitarbeitern (10) durch Kalkdüngung bis zum 7fachen erhöht, wie durch Berechnungen leicht festzustellen ist. Die Faktoren ergeben keine deutliche Klärung der Frage der Aufschließung von Rohphosphaten durch verschiedene Holzarten.

Es wurde daher versucht, die Bedeutung der Rohphosphate durch Vegetationsversuche mit 2 phosphorsäurebedürftigen Böden festzustellen. Zur Prüfung der Wirkung des Rohphosphates (Algierphosphat) wurden Superphosphat und Thomasmehl benutzt. In einer zweiten Versuchsreihe wurden die sauren Böden durch eine Kalkdüngung auf die Reaktion pH (KCl) etwa 5 gebracht, um so gleichzeitig den Einfluß einer Kalkung zu prüfen.

Die Versuche wurden in Neubauerschalen durchgeführt; als Versuchspflanze diente Lärche, als Versuchsböden wurden ausgewählt:

1. Bausandstein-Verwitterungsboden (Hann.-Münden),
2. diluvialer Sand (Oerrel-Lintzel).

Beide Böden entstammen einer Tiefe von 0—20 cm und hatten sich 1937 in Vegetationsversuchen von H. Süchting (12) sowie durch chemische Analysen als phosphorsäurebedürftig erwiesen, wie folgende Zahlen sagen:

Boden	Lärche		Kiefer	
	N+K ohne P Tr.-Subst. g	N+K+P Tr.-Subst. g	N+K ohne P Tr.-Subst. g	N+K+P Tr.-Subst. g
Bausand	2,2	3,5	3,2	3,7
Diluvialer Sand	2,1	4,0	3,0	4,3

Die chemische Untersuchung ergab bei Bausand einen Gehalt von 34 mg HCl-lösl. und 6,5 mg zitronensäurelösl. P_2O_5; beim diluvialen Sand einen Gehalt von 32 mg HCl-lösl. und 9,8 mg zitronensäurelösl. P_2O_5 auf 100 g Bodentrockensubstanz. Eine genauere Charakterisierung der Böden ist der oben angegebenen Arbeit von H. Süchting zu entnehmen.

Versuchsplan:

1. Reihe. Volldüngung ohne P_2O_5.
2. Reihe. Volldüngung mit Superphosphat.
3. Reihe. Volldüngung mit Thomasmehl.
4. Reihe. Volldüngung mit Algierphosphat.

Vier weitere Versuchsreihen erhielten noch eine zusätzliche Kalkdüngung.

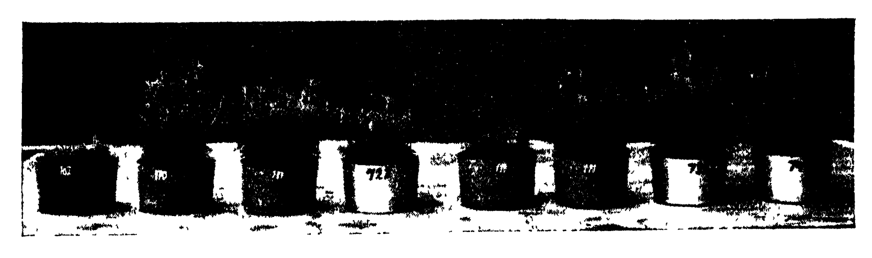
Düngung: 60 mg N als NH_4NO_3, 60 mg K_2O als K_2SO_4 und 60 mg P_2O_5 als Gesamtphosphorsäure in Superphosphat, Thomasmehl und Algierphosphat je Gefäß. Die Kalkdüngung betrug bei Bausand 1,25 g $CaCO_3$ und beim diluvialen Sand 1 g $CaCO_3$. Die Kalk- und P_2O_5-Dünger wurden trocken mit den Böden vermischt, N und K_2O wurden in Lösungen vor der Saat gegeben.

Für jede Versuchsreihe standen 3 Parallelgefäße zur Verfügung.

Die Aussaat erfolgte am 10. Mai 1938 mit 40 vorgekeimten Samen je Gefäß.

Vegetationsbeobachtungen: Bei beiden Böden trat die Abhängigkeit der Wirkung der P_2O_5-Dünger von der Kalkdüngung deutlich in Erscheinung. In den nicht gekalkten Reihen wirkten alle 3 P_2O_5-Dünger fast gleichmäßig gut; wie auch aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich ist.

In den gekalkten Gefäßen zeigte Superphosphat eine bessere Wirkung als Thomasmehl und besonders als Algierphosphat. Auf Bausand war ein ertragssteigernder Einfluß durch Rohphosphat kaum wahrnehmbar.



Bausand: N+K | N+K+ Superphosphat | N+K+ Thomasmehl | N+K+ Algierphosphat

Diluvialer Sand: N+K | N+K+ Superphosphat | N+K+ Thomasmehl | N+K+ Algierphosphat

Ernte: Geerntet wurde am 21. Septemper 1938. Bei der Ernte wurde auch die Wurzelmasse durch Ausschlämmen des Bodens quantitativ gewonnen.

Über die Wirkung der P_2O_5-Dünger auf den Ertrag und die P_2O_5 Aufnahme gibt folgende Zahlentafel Auskunft:

Düngung N + K	$CaCO_3$	Bausand					Diluvialer Sand				
		sandfreie Tr.-Subst.	CaO	CaO	P_2O_5	P_2O_5	sandfreie Tr.-Subst.	CaO	CaO	P_2O_5	P_2O_5
	g	g	%	mg	%	mg	g	%	mg	%	mg
—	—	1,42	0,40	5,7	0,19	2,7	1,97	0,28	5,5	0,26	5,2
Superphosphat	—	2,72	0,47	12,8	0,42	11,4	3,21	0,40	12,8	0,44	14,2
Thomasmehl	—	2,77	0,50	13,7	0,50	13,8	3,59	0,40	14,4	0,43	15,3
Algierphosphat	—	2,43	0,51	12,3	0,51	12,3	3,29	0,36	11,9	0,40	13,3
-	1,25 bzw.1	1,24	1,11	13,8	0,17	2,2	2,17			0,19	4,2
Superphosphat	„	3,38	0,90	30,4	0,42	14,3	3,48			0,43	15,0
Thomasmehl	„	2,35	1,03	24,1	0,49	11,6	3,01			0,47	14,0
Algierphosphat	„	1,47	1,12	16,5	0,26	3,9	2,87			0,36	10,2

Die Zahlen beziehen sich auf die gesamte Ernte einschließlich Wurzelmasse und sind Mittelwerte der 3 Parallelgefäße.

Aus der Tafel ist zu entnehmen, daß auf den nichtgekalkten sauren Böden das Algierphosphat fast die gleiche Wirkung auf die Erträge und die P_2O_5-Aufnahme ausübte wie die löslichen P_2O_5-Dünger. Neben einer gleichzeitigen Kalkdüngung war dagegen die Verwertung des Rohphosphates bei Bausand sehr gering und bei dem diluvialen Sand deutlich geringer als die des Superphosphates und Thomasmehls.

Die Kalk-Phosphorsäurefaktoren schwankten etwa zwischen 1 : 2 und 1 : 15.

Die Ausnutzung der Düngungsphosphorsäure war nicht hoch; sie betrug etwa 11—18 %. Gering etwa 3 % — war die Verwertung von Algierphosphat in der gekalkten Reihe auf Bausand.

Um den Einfluß der verschiedenen P_2O_5-Dünger auf die Reaktion des Bodens zu prüfen, wurden aus je einem Gefäß der ungekalkten Reihen bei der Ernte Bodenproben entnommen.

Die Untersuchungen hatten folgendes Ergebnis:
Besonders auffallend ist in allen Versuchsreihen eine deutliche Entsäuerung des Bodens. Worauf diese Wirkung zurückzuführen ist, kann nicht angegeben werden.

Die Düngung mit Superphosphat und Algierphosphat war ohne besonderen Einfluß auf die Reaktion der Böden, durch Thomasmehl wurde dagegen die Austauschazidität eindeutig vermindert.

Düngung	Bausand		Diluvialer Sand	
	Austauschazidität			
	pH (KCl)	je 100 g Tr.-Subst. n/10 NaOH ccm	pH (KCl)	je 100 g Tr.-Subst. n/10 NaOH ccm
Ohne Düngung vor Beginn des Versuchs	3,9	24,9	4,1	15,6
N+K	4,1	14,7	4,3	11,2
N+K+Superphosphat . .	4,2	14,2	4,3	10,4
N+K+Thomasmehl . . .	4,3	8,6	4,4	5,6
N+K+Algierphosphat . .	4,1	14,3	4,3	11,7

Zusammenfassung.

Auf zwei sauren Böden zeigte das Rohphosphat eine ebenso gute Wirkung auf den Ertrag und die P_2O_5-Aufnahme wie das Superphosphat und Thomasmehl.

Auf dem schluffreichen Bausandsteinverwitterungsboden war die Verwertung des Algierphosphates bei gleichzeitiger Kalkdüngung nur gering.

Die Verwendung von Rohphosphat scheint demnach für viele Waldböden praktisch möglich und aussichtsreich zu sein.

Es ist notwendig und auch beabsichtigt, die Frage der praktischen Anwendung von schwer löslichen Phosphaten in der Forstwirtschaft durch Versuche mit einer größeren Anzahl von verschiedenen Waldböden und verschiedenen Holzarten weiter zu klären.

Schrifttum.

1. Tacke, Br.: Über die Wirkung verschiedener Rohphosphate auf Hochmoorboden. Jb. Moorkunde, Hannover, **14**, 1925, 1—11.
2. Kappen, H.: Über die Verwertbarkeit der Rohphosphate zur Düngung auf sauren Mineralböden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, B, **7**, 1928, 171—179.
3. Wityn, I.: Über die bessere Ausnutzung der im Boden befindlichen Phosphorsäure. Ebenda, A, **6**, 1926, 27—51.
4. Kossowitsch, P.: J. exp. Landw. (russ.), **2**, 1901, 781.
5. Prjanischnikow, D.: Zur Frage über den relativen Wert von verschiedenen Phosphaten. Landw. Versuchsstat., Berlin, **56**, 1902, 107—140; **65**, 1907, 23—54.
6. Wrangell, M. v.: Ein estländisches Rohphosphat und seine Wirkung auf verschiedene Pflanzen. Ebenda, **96**, 1920, 1—44.
7. Söderbaum, H. G.: Zur Kenntnis der Faktoren, welche die Düngewirkung der schwerlöslichen Phosphate beeinflussen. Ebenda, **68**, 1908, 433—450.
8. Pfeiffer, Th., u. A. Rippel: Das Verhalten verschiedener Pflanzen schwerlöslichen Phosphaten gegenuber. J. Landw., Berlin, **69**, 1921, 165—183.
9. Wrangell, M. v.: Phosphorsäureaufnahme und Bodenreaktion. Landw. Versuchsstat., Berlin, **96**, 1920, 209—262.
10. Süchting, H., W. Jessen u. G. Maurmann: Wuchsleistung und Nährstoffaufnahme junger Holzarten in Abhängigkeit von Bodenreaktion und Düngung. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **5**, 1937, 338—374.
11. Lent, I.: Der Owinger Forstdüngungsversuch. Z. Forst- und Jagdwiss., Berlin, **60**, 1928, 641—659.

12. Süchting, H.: IV. Prüfung ausgewählter Waldböden auf Nährstofflieferung durch Vegetationsversuche mit Lärche, Kiefer und Fichte sowie auf Nährstofflöslichkeit durch chemische Untersuchungsmethoden. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **13**, 1939, 72—117.
13. Hackmann, G.: Phosphorsäuregehalt von Waldböden und Fichtenwachstum. Mitt. Forstwirtsch. u. Forstwiss., Hannover, 1930, 25.
14. Němec, A.: Untersuchungen über den Einfluß der Phosphorsäuredüngung auf das Wachstum und die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **11**, 1938, 93—128.
15. Wrangell, M. v.: Gesetzmäßigkeiten bei der Phosphorsäureernährung der Pflanze. Landw. Jb., Berlin, **57**, 1923, 1—78.
16 Manshard, E.: Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Aschen forstlicher Kulturpflanzen aus den Halstenbeker Forstbaumschulen. Thar. Forstl. Jb., Berlin, **84**, 1933, 105—158.
17. Süchting, H., W. Jessen u. G. Maurmann: Über Nährstoffaufnahme und Nährstoffwanderung in den Organen bei einigen Nadelhölzern. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **3**, 1927, 345—368. [294]

Schriftwalter: Prof. Dr F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W g — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G m. b. H, Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Veränderung der physikalischen Bodenverhältnisse durch Abwasserzuführung*).

Von **W. Hensel.**

Arbeit aus dem Institut für Kulturtechnik der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin.

Direktor: Professor Freckmann.

Eingegangen: 15. Januar 1939.

A. Die Aufbringung städtischen Abwassers und seine den Boden verändernden Bestandteile.

Mit dem Werden und Wachsen der Städte entstand und entwickelte sich die Abwasserreinigung (1). Dabei war die hygienische Seite der Angelegenheit, die Fortschaffung des Brauchwassers, zunächst einmal die primäre; sie weitete sich zu einer technischen, die Art und Weise der Fortschaffung und Verwandlung des Schmutzwassers betreffend, und wurde auch zu einer landwirtschaftlichen, die sich mit der Verwertung beschäftigte. Außer einer gewissen Bindung an die Zeit liegen die Grenzen und Möglichkeiten der Abwasserreinigung in der Platz- und Kostenfrage.

Von den verschiedenen Reinigungsarten, wie sie sich heute in dem mechanischen, künstlich biologischen und natürlich biologischen Verfahren darbieten, soll hier lediglich ein Teilgebiet der letzteren Art der Betrachtung unterzogen werden, und zwar die Verrieselung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Sie ist aus einer Zweckgemeinschaft von Stadt und Landwirtschaft hervorgegangen, wobei die Stadt auf die Reinigung, die Landwirtschaft auf die Ausnutzung und Verwertung des zur Verfügung gestellten Wassers bedacht sein mußte. Dabei war die Leistung der Methode einmal an dem Reinigungsgrad des Abwassers und dann auch an der Ertragssteigerung der damit bedachten Flächen zu messen. Beide sollten in Einklang stehen und ein Optimum ergeben.

Nach Jahren einwandfreien Arbeitens stellte sich aber vereinzelt eine gewisse Rieselmüdigkeit des Bodens ein, was sich besonders im Rückgang der landwirtschaftlichen Erträge bemerkbar machte. Man sprach auch wohl von einem verrieselten oder totgerieselten Acker (2). Es war durchaus einleuchtend, daß man die Schuld an den eingetretenen Mängeln dem Schmutzwasser selbst gab, denn dieses mußte in seiner Zusammensetzung und ungewöhnlichen Menge den Boden ungünstig beeinflussen. Neben den verschiedenartigen Ursachen, wie sie sich aus den Besonderheiten der einzelnen Anlagen herleiten ließen, sah man besonders in:

der Überlastung der Felder mit Schmutzwasser und
der Schlammschicht und Verkrustung des Bodens

den Grund für den eingetretenen Zustand. Eine Überlastung trat überall dort ein, wo die Vergrößerung der aptierten Fläche nicht Schritt hielt mit der Ab-

*) Diss. D. 97, Univ. Berlin, 1939.

wasserzunahme, wie sie sich aus dem Anwachsen der Bevölkerung, aus Eingemeindungen und erweitertem Kanalisationsanschluß ergab; teilweise konnte sie es auch nicht, weil kein Platz in geeigneter Lage und Entfernung vom Stadtzentrum zur Verfügung stand.

Ein solches Bild ergab sich für Berlin in einem Zeitraum von 6 Jahren; betrug im Jahre 1923 die tägliche Abwassermenge noch 430000 cbm, so stieg sie im Jahre 1929 auf 650000 cbm bei fast gleichgebliebener berieselter Landfläche von ungefähr 11000 ha (3). Hatte die Gesundheitspolizei beim Ausbau der Rieselfelder verlangt, daß auf 1 ha die Abwässer von nicht mehr als 250 Menschen kamen (4), so war das Verhältnis im Jahre 1929 1 : 390 geworden und das, nachdem die Felder z. T. schon 50 Jahre im Rieselbetrieb standen.

Aus Platzmangel mußte die Stadt Danzig 1926 dazu übergehen, zur Entlastung der weiter bestehenden Rieselfelder eine Kläranlage nach dem Belebtschlammverfahren zu bauen; die Bodenfilter waren bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit (900 Menschen/ha) ausgenutzt (5).

Dieses sind nur zwei Beispiele, die sich noch um viele andere vermehren ließen. Sie wurden ausgewählt, um auch die Verschiedenheit in der Belastungsmöglichkeit der Felder anzudeuten. Ist doch von der Zusammensetzung des Reinigungsmittels die Menge des aufgeleiteten Wassers abhängig, oder mit anderen Worten: mit der Bodenqualität steigt auch die erforderliche aptierte Fläche. Dabei ergibt sich dann noch eine andere Frage, ob schwerer oder leichter Boden besser für Berieselung geeignet und welchem von ihnen etwa der Vorzug bei genügendem Reinigungseffekt zu geben ist. Die Ansichten bezüglich des leichten Bodens widersprechen sich zum Teil, während die eintretenden Mängel des schweren Bodens (Verminderung der Durchlässigkeit, zu starke Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit) eindeutig herausgestellt werden (6, 7, 8, 9).

Rückstände des Abwassers ergeben sich bei jeder Klärmethode, und ihre Fortschaffung bzw. Verwertung bildet eine besondere Aufgabe der Reinigung. Sie macht sich aber besonders unangenehm bei der Verrieselung bemerkbar, wo nach der Abtrocknung auf dem Felde eine dünne Schicht (größtenteils von dem im Wasser enthaltenen Papier herrührend) zurückbleibt, die die Atmung des Bodens beeinträchtigt und den Wasserdurchfluß zumindest verzögert (10). Die Rückstände müssen von den Feldern abgefahren werden, denn auch ein Unterpflügen besonders des unvergorenen Schlickes kann diesem Mangel nicht abhelfen (2), sondern macht sich stellenweise in Porenverstopfung und damit verminderter Durchluftung bemerkbar. Die organischen Substanzen des Abwassers gehen durch die mangelhafte Sauerstoffzufuhr in Fäulnis über, und es kommt nicht zu der notwendigen Nitrifikation; andererseits setzt die sich entwickelnde Kohlensäure das in reichlichen Mengen zugeführte Kochsalz zu Soda um und trägt ebenfalls zu einer gewissen Verkrustung des Bodens bei (10).

Dazu ist zu sagen, daß die Vorreinigung des Abwassers, die bis zu einem bestimmten Grade immer notwendig ist (3), die Entwicklung der Strukturveränderung des Bodens maßgebend beeinflussen kann. Wie umstritten dieses Problem aber auch heute noch ist, ist schon daran zu erkennen, daß sowohl die weitgehendste Vorklärung als erstrebenswertes Ziel hingestellt wird (11, 2), als auch wieder davor gewarnt wird; dabei wird auf den Verlust an Kernnährstoffen hingewiesen (12) und der Wert des Schlammes als Humusergänzung besonders hervorgehoben (13). Von der ursprünglichen Qualität des Bodens wird, wie schon bei der Abwassermenge erwähnt ist, der notwendige Grad der Vorreinigung abhängen (8). Die ungünstige Beeinflussung der physikalischen Bodeneigenschaften rührt aber gerade von den wertlosen Bestandteilen (Zellulose, Fett, Kochsalz) her. Der Anteil dieser schädigenden Stoffe ist ziemlich erheblich; er beträgt an Fett 9,8—13,8%, an Zellulose ungefähr 50% der Schlammtrockensubstanz (2, 14). Dabei rechnet man auf 1000 cbm Abwasser 2 cbm Trockenschlamm bei einem jährlichen Zufluß von ungefähr 243 Millionen cbm der Berliner Rieselfelder (für das Jahr 1936 [15]); das sind an Fett 57350 cbm, an Zellulose 243000 cbm. Backhaus (14) fand bei Bodenuntersuchungen in Osdorf 0,0178% Kochsalz in

der Bodentrockensubstanz. Nach Fischer (14a) hat 1 ha der Osdorfer Rieselfelder ungefähr 160 Zentner Kochsalz jährlich aufzunehmen. Die Anhäufung solcher Salzmengen im Boden muß sich schließlich schädlich für den strukturellen Aufbau auswirken und ihm Eigenschaften verleihen, wie sie einem Na-Boden eigen sind.

Wurden so einige Nachteile hervorgehoben, die sich mit der Zeit aus der Verrieselung der Abwässer ergeben haben, so kann von ihnen nicht auf ein Gesamturteil der Methode geschlossen werden. Diese spricht in ihren allgemeinen Erfolgen schließlich immer noch für sich. Die Mängel wurden vielmehr zum Ausgangspunkt dieser Arbeit genommen, die die physikalische Veränderung des Bodens durch Abwasserzuführung an Hand von Versuchen, die auf den Berliner städtischen Rieselgütern durchgeführt wurden, erklären soll.

Es wird dabei vor allem auf eine physikalische Standortserläuterung ankommen, die sich aus der Gegenüberstellung Riesel- zu Naturland besonders deutlich hervorheben soll. Im Verlauf der Untersuchungen sind für die einzelnen Vergleichspaare folgende Bedingungen eingehalten worden:

1. Gleichwertigkeit der Versuchsteilstücke,
2. möglichst benachbarte Lage derselben,
3. ausgeruhtes Rieselland, bei dem also die letzte Überstauung soweit zurückliegt, daß ein Gehalt an Senkwasser nicht mehr zu befürchten ist,
4. gleiche Fruchtarten auf den Teilstücken,
5. Probeentnahme an einem Tage bei Riesel- und Naturland,
6. gleichmäßige Verarbeitung der Proben.

B. Die landwirtschaftlichen und rieseltechnischen Verhältnisse der Versuchsflächen.

Es wurden die Berliner Rieselfelder als Versuchsobjekt ausgewählt, weil es sich bei ihnen neben Bunzlau (seit 1531) und Danzig (seit 1869) um die ältesten Anlagen in Deutschland (seit 1870) handelt. Die jahrzehntelange Einwirkung des Rieselwassers gibt ja die beste Gewähr für die richtige Beurteilung des Bodens hinsichtlich seiner möglichen Strukturveränderung. Die oben angegebenen Punkte 2—4 der eingehaltenen Bedingungen schränkten die Auswahl der Güter, von denen Proben entnommen werden konnten, erheblich ein. Für am besten geeignet wurden schließlich Osdorf und Hobrechtsfelde befunden, zumal auch auf die Bodenqualität Rücksicht zu nehmen war. Sind die Unterschiede hierbei auch allgemein nicht sehr groß, so bildet Osdorf doch den schwereren Boden gegenüber dem reinen Sandboden in Hobrechtsfelde.

Es sei hier noch erwähnt, daß Osdorf etwa 30 Jahre länger im Rieselbetrieb steht als Hobrechtsfelde (um 1907) (4), was aber bei dem genügenden Alter des letzteren für den Vergleich nicht ins Gewicht fallen dürfte. Die tägliche Belastung mit Abwasser im Jahre 1936 betrug in Osdorf 43 cbm/ha, in Hobrechtsfelde 72 cbm/ha (15). Die Unterschiede ergeben sich aus der größeren Durchlässigkeit des Hobrechtsfelder Bodens.

Von folgenden Teilstücken wurden Proben entnommen:

1. Osdorf.

OIIR Schlag Bassin I, Rieselland. Katasterbonitierung A 7. Drei Jahre nicht berieselt; vorher aber auch als Wintereinstaubassin benutzt. Dränage vorhanden.
Frucht 1936: Roggen.
Frucht 1937: Kartoffeln.
Düngung 1937: 2 dz/ha Rhenaniaphosphat
2 dz/ha Kali (4%)
300 dz/ha Stalldung.
Ertrag 1937: 280 dz/ha.
Entnahmetage: 10. September 1937 vor der Ernte,
12. Marz 1938 drei Tage nach dem Pflügen.

OIIN Schlag A 11, Naturland, Katasterbonitierung A 4 und 5.
Frucht 1937: Kartoffeln.
Düngung 1937: 3 dz/ha Rhenaniaphosphat
2 dz/ha Kali (4%)
1,6 dz/ha schwefelsaures Ammoniak
300 dz/ha Stalldung.
Ertrag 1937: 274 dz/ha.
Entnahmetage: 10. September 1937 vor der Ernte,
12. März 1938 drei Tage nach dem Pflügen.

OIIN Schlag A 31, Naturland, das aber bis vor ungefähr 20 Jahren noch als (Sommer) Rieselland benutzt wurde. Katasterbonitierung A 5—7.
Frucht 1936: Kartoffeln.
Frucht 1937: Hafer.
Düngung 1937: 2 dz/ha Rhenaniaphosphat
2 dz/ha Kali (4%)
1,6 dz/ha Kalkammon
12 cbm/ha Schlick.
Ertrag nicht festgestellt, da keine Vergleichsteilstücke vorhanden.
Entnahmetag: 22. Juni 1937.

OIR Schlag 282, Rieselland. Katasterbonitierung A 5. In den letzten drei Jahren nicht berieselt. Dränage vorhanden.
Frucht 1936: Hafer.
Frucht 1937: Roggen.
Düngung 1936: 2 dz/ha Rhenaniaphosphat
2 dz/ha Kali (4%)
1 dz/ha Kalkammon
Düngung 1937: 10 dz/ha Ätzkalk.
Ertrag 1937: 15 dz/ha.
Entnahmetage: 21. September 1937 nach der Ernte.
12. Marz 1938 unbeackert.

OIN Schlag A 1, Naturland. Katasterbonitierung A 5.
Frucht 1936: Kartoffeln.
Frucht 1937: Roggen.
Düngung 1937: 2 dz/ha Rhenaniaphosphat
2 dz/ha Kali (4%)
1,6 dz/ha Kalkammon
10 dz/ha Ätzkalk.
Ertrag 1937: 27 dz/ha.
Entnahmetage: 21. Septemer 1937 nach der Ernte.
12. März 1938 unbeackert.

2. Hobrechtsfelde.

HoR Schlag 234a, Rieselland. Katasterbonitierung H 7.
Letzte Berieselung im zeitigen Frühjahr 1937.
Dränage: Seit Herbst 1937. 5—6 m Rohrabstand.
Frucht 1937: Kartoffeln.
Düngung 1937: Keine.

Ertrag 1937: Ungefähr 170 dz/ha.
Entnahmetage: 20. September 1937 vor der Ernte.
3. April 1938 ungefähr 1 Woche nach Pflügen und Eggen.

HoR Schlag 160, Rieselland. Katasterbonitierung H 7 (Sommer).
(Sommer) Frucht 1936: Gemüse.
Frucht 1937: Kartoffeln.
Düngung 1937: Keine.
Entnahmetage: 25. Juni 1937.

HoN Schlag 215, Sägewerksberg, Naturland. Katasterbonitierung H 7.
Frucht 1936: Kartoffeln.
Frucht 1937: Kartoffeln.
Düngung 1937: 4 dz/ha Thomasmehl
2 dz/ha Kalisalz (4 %)
$2^1/_2$ dz/ha Kalkammonsalpeter
400 dz/ha Stallmist.
Ertrag 1937: 120 dz/ha.
Entnahmetage: 20. September 1937 vor der Ernte.
3. April 1938 unbeackert.

Die vor den einzelnen Teilstücken angegebenen Bezeichnungen OI, OII und Ho sind Abkürzungen, die für das Folgende Geltung haben. Dabei bedeuten die Zusätze:

R = Rieselland,
N = Naturland,
o = oben (Ackerkrume),
u = unten (Untergrund).

Bei OIIN und HoR finden sich einigemal die Zusätze „Sommer“; es handelt sich hier um Teilstücke, denen nur im Sommer 1937 Proben entnommen wurden, welche lediglich für einige physikalische Eigenschaften (Korngrößen, Glühverlust, Benetzungswärme, Benetzbarkeit) ausgewertet wurden.

Die Proben wurden der Ackerkrume (bis 10 cm Tiefe) und dem Untergrund (30—40 cm Tiefe) entnommen, und zwar mit dem Stechzylinder nach Krauß (16). Der Volumeninhalt betrug 100 ccm; die äußeren Maße waren: Durchmesser 5,0 cm, Höhe 5,1 cm. Die Entnahme geschah mit peinlichster Sorgfalt in dem Bewußtsein, daß nur eine einwandfreie Feldarbeit die Grundlage für richtige Werte der Laboratoriumsarbeit bilden kann und diese illusorisch macht, wenn sie nicht exakt ausgeführt wird (17). Ein Bohrer wurde nicht verwendet, vielmehr der Zylinder auf den glattgestrichenen Boden — im Untergrund nach Ausheben eines entsprechenden Loches — aufgesetzt und mit einem Vierkantholz eingedrückt ohne Benutzung eines Hammers oder eines anderen Schlaginstrumentes, um jede Strukturänderung etwa durch Zusammenrütteln auszuschalten. Um auch ein evtl. Zusammenpressen des Bodens beim Eindrücken des Zylinders zu vermeiden, hatte das Vierkantholz eine quadratische Grundfläche, deren Kantenlänge etwas größer war als der Durchmesser des Stechzylinders. Es konnte so beim Eindrücken genau beobachtet werden, wann der Zylinder gefüllt war, wenn also die überstehenden Ecken des Vierkantholzes den Boden erreicht hatten. Da einerseits keine so große Zahl von Zylindern zur Verfügung stand, wie sie für die erforderlichen Proben nötig gewesen wäre, andererseits aber auf die Ermittlung des Volumengewichts größter Wert gelegt wurde, ist eine Reihe von Proben mit dem Stechzylinder entnommen und gleich auf dem Felde in Pergamenttüten entleert worden, um sie vor Verdunstung zu schützen. Zur Ergänzung wurde noch eine Reihe von Proben in Reagenzgläsern entnommen, aus denen der Wassergehalt in Gewichts-% ermittelt wurde. Durch eine einfache Umrechnung gelang es, wie noch zu zeigen sein wird, den Wassergehalt aus den Gewichts-% in Volumen-% umzuformen, wenn das Volumengewicht bestimmt wurde.

Proben wurden im Herbst und Frühjahr entnommen, um Vergleiche über Veränderung von Wassergehalt, Poren- und Krümelgrößen zu erhalten. Zum Wiederauffinden der gleichen Entnahmestellen wurden die Punkte A, B,

C,. D (s. Abb. 3—14) durch geometrische Messung nach markanten Stellen im Gelände (Bäume, Telegrafenmaste, Grabenränder usw.) festgelegt. Zur Darstellung der Witterungsverhältnisse an den Entnahmetagen wird eine Tabelle über Temperatur und Regenhöhe nach den Messungen des Dahlemer Instituts beigefügt (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1.

Temperatur- und Niederschlagstabelle.

Datum	+ (°C) (Tagesmittel)	mm Niederschlag		Datum	+ (°C) (Tagesmittel)	mm Niederschlag		Datum	+ (°C) (Tagesmittel)	mm Niederschlag	
September 1937 1	+16,8			März 1938 1	+7,2	1,6		März 1938 20	+12,2		
2	20,1			2	5,6	0,9		21	13,1		
3	21,8			3	7,3	0,3		22	11,8		
4	18,6			4	6,0			23	14,0		
5	16,5			5	6,6			24	10,7		
6	18,0			6	6,4			25	13,3	3,8	
7	19,7			7	4,8			26	4,2	3,6	
8	17,4			8	5,6			27	4,3	4,3	
9	12,6	1,5		9	8,3			28	4,1		
10	11,8		Probenahme O II	10	7,6			29	6,9	4,6	
11	11,8	7,8		11	5,6			30	10,9	8,5	
12	12,2	2,2		12	4,3		Probenahme O I u. O II	31	11,0		
13	12,0							April 1	10,4		
14	12.5	3,0						2	9,2	1,0	
15	12,7							3	5,7	4,9	Probenahme Ho
16	15,6										
17	16,4	3,3									
18	15,3										
19	17,6	8,1									
20	13,4	0,3	Probenahme Ho								
21	11,1	1,4	Probenahme O I								

Bei der Bedeutung, die Textur und Struktur für die Leistungsfähigkeit eines Bodens haben, wurden die Untersuchungen daraufhin ausgerichtet. Sie erstreckten sich auf die Ermittlung von

1. Korngrößen,
2. Porengrößen,
3. Wassergehalt,
4. Durchlüftung,
5. Benetzbarkeit,
6. Benetzungswärme,
7. Krümelgrößen.

Neben der mechanischen Klassifikation der Böden ist das Verhalten zur Luft und ganz besonders zum Wasser zum Gegenstand der Untersuchungen genommen worden.

Die Darstellung bringt unter Innehaltung der obigen Reihenfolge zunächst die verschiedenen angewandten Methoden mit den erzielten Resultaten und danach in einer Zusammenfassung nochmals eine Gegenüberstellung der Ergebnisse.

C. Vergleichende Untersuchung von Riesel- und Naturland.

1. Korngrößen.

Das primäre Kennzeichen eines Bodens ist seine Textur. Die Ermittlung derselben sei darum an den Anfang der Untersuchungen gestellt. Sie hat den Zweck, die verschiedenen Böden nach ihren Korngrößenzusammensetzungen zu charakterisieren und in die bekannte Skala einzuordnen, die dem Boden je nach seinem Gehalt an abschlämmbaren Teilen (< 0,01 mm) eine wertmäßige Bezeichnung beilegt (18).

Es ist nicht Zweck der Arbeit, die einzelnen Methoden der Bodenzerlegung genauer zu untersuchen und auf Vorzüge und Mängel einzugehen [vgl. (19)].

Jene sind bereits in großer Zahl in der Literatur zum Gegenstand eingehender Betrachtung genommen worden (vgl. z. B. 20, 21, 22, 23, 24, 25), ohne dabei volle Klarheit über Konzentrationsdichte, Vorbehandlung, Gültigkeit der Stokesschen Formel u. a. m. zu schaffen.

Man muß bedenken, daß das Bild, das durch die Texturanalyse vom Boden zu erhalten ist, doch ein nur rohes und durch andere Methoden erst zu ergänzendes sein kann. Schließlich vermittelt der Korngrößenaufbau noch kein alleiniges Werturteil über den Boden, wenn man weiß, daß zwei Boden mit gleicher Zusammensetzung verschiedene Leistungsfahigkeit haben können.

Die gleichartige Verarbeitung aller Bodenproben gewährleistete zunächst einmal einen guten Vergleichsmaßstab. Die Durchführung wurde nach der Sieb- und Sedimentationsmethode vorgenommen. Jene zerlegte den Boden in 5 Korngrößengruppen bis zur Korngröße 0,2 mm, diese weiter bis zur Bestimmung der abschlämmbaren Teile. Dabei wurde mit dem Kühnschen Schlämmzylinder gearbeitet bei einer Wasserhöhe von 20 cm. Ausgangsmenge war 50 g Trockenboden, der nach halbstündigem Kochen — in destilliertem Wasser ohne Zusatz von Chemikalien — und Erkalten verlustlos in den Zylinder gespült wurde. Bei der Sedimentation entsprachen sich:

Absetzzeit	Teilchen gleichen hydraulischen Wertes
Nach 1 Stunde	< 0,01 mm Durchmesser
Nach 3 Minuten 52 Sekunden	0,01—0,05 mm Durchmesser
Nach 50 Sekunden	0,05—0,1 mm Durchmesser

Die Anteile ergaben sich jedesmal aus den getrockneten Rückständen. Der Rest (< 0,1 mm) wurde danach trocken gesiebt.

Die ermittelten Werte sind in Tabelle 2 zusammengestellt und geben die Mittel aus zwei Versuchsparallelen an. Die Teile < 0,1 mm sind in der letzten Spalte noch einmal summarisch zusammengefaßt worden. Wenn ihnen auch nicht der Wert beizulegen ist wie Ton und Schluff, aus denen sie nur zum kleinen Teil bestehen (vgl. Atterbergs Bodeneinteilung), so schien die Zusammenfassung aus dem Grunde wünschenswert, weil öfter auf sie zurückgegriffen wird. Die größten Abweichungen der beiden Wiederholungen untereinander betrugen bei der trockenen Siebung maximal 3 % des Gesamtgewichts — wobei die Schwankungen in der Korngröße > 2 mm naturgemäß am größten ausfielen —, bei der Sedimentation überstiegen sie in keinem Falle 1 %.

Tabelle 2.

Die Zahlen bedeuten den %-Anteil vom Gesamtboden.
Korngrößenzusammensetzung.

	> 2 mm	2,0—1,0	1,0—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	<0,01mm	<0,1 mm
		Grobsand			Feinsand			Schluff + Ton	
O II Ro	2,35	1,54	3,04	6,95	62,54	12,07	9,32	2,19	23,58
Ru	2,97	2,06	3,15	8,03	64,66	10,83	7,24	1,06	19,13
No (Sommer)	2,36	1,78	2,77	7,90	66,86	8,34	7,11	2,88	18,33
Nu (Sommer)	2,64	1,58	2,55	6,14	66,17	8,72	10,68	1,52	20,92
No	1,42	1,46	3,31	6,34	73,12	6,19	3,92	4,24	14,35
Nu	0,97	1,35	2,98	5,58	69,57	6,90	8,45	4,20	19,55
O I Ro	2,16	1,59	2,96	7,41	69,39	8,02	4,96	3,51	16,49
Ru	3,52	1,87	2,93	8,53	61,76	10,20	10,05	1,14	21,39
No	2,65	1,60	3,10	5,96	72,71	5,41	4,35	4,22	13,98
Nu	1,96	1,58	3,14	6,55	69,63	6,29	6,65	4,20	17,14
Ho Ro	2,28	3,36	6,65	14,48	69,06	2,28	0,73	1,16	4,17
Ru	3,50	3,48	6,48	13,36	70,02	1,43	0,95	0,78	3,16
Ro (Sommer)	1,22	1,81	4,10	12,07	76,23	2,47	0,70	1,40	4,57
Ru (Sommer)	0,54	1,88	7,48	19,49	68,68	0,80	0,54	0,59	1,93
No	2,32	3,16	7,24	16,30	67,52	1,56	1,02	0,88	3,46
Nu	3,30	3,72	5,20	7,77	78,85	0,37	0,36	0,43	1,16

Bei der Betrachtung der Tabelle 2 soll zunächst die Summe der abgeschlämmten Teile (< 0,1 mm) den sogenannten abschlämmbaren Teilen (< 0,01 mm) gegenübergestellt werden. Dabei ergibt sich für die Osdorfer Böden im Rieselland eine Zunahme der Teile < 0,1 mm bei gleichzeitiger Abnahme der abschlämmbaren Teile. Es ist also eine Anreicherung an feinen Teilen aus den Fäkalsuspensa festzustellen, die aber nicht von feinster Größenordnung ist; andererseits hat, besonders deutlich im Untergrund, eine Auswaschung der Ton- und Schluffteilchen stattgefunden, eine Rieselwirkung, auf die schon Knopf (26) hingewiesen hat. Auch eine Rieselnachwirkung kann aus den Zahlen abgelesen werden. O II N (Sommer) ist ein Teilstück, das noch bis vor 20 Jahren überstaut worden ist, seitdem aber als Naturland genutzt wird. Es fügt sich vorzüglich zwischen Riesel- und Naturland ein, indem ihre abschlämmbaren Teile sich in der Größenordnung jener des Riesellandes bewegen, während die Teile < 0,1 mm bei annähernd gleicher Summe im Untergrund in der Krume eine Mittelstellung einnehmen. Also auch ein Ausruhen von längerer Zeit (in diesem Falle 20 Jahre) vermag die Korngrößenverschiebung, die zweifellos durch die Berieselung entstanden ist, nicht wieder auszugleichen; eine Wiederanreicherung von Schluff und Ton hat nicht stattgefunden, dagegen haben die Teile < 0,1 mm noch abgenommen, denn es handelte sich bei ihnen wohl hauptsächlich um Schmutzwasserrückstände, die nicht mineralisiert worden sind.

Was O II N und O I N betrifft, so fällt auf, daß sie fast auf die Dezimale genau gleiche Anteile an abschlämmbaren Teilen haben. Man wäre damit unter Zugrundelegung des oben angegebenen Bodenschemas berechtigt, beide Böden gleichmäßig zu bewerten; die Angaben der Katasterbonitierung A 4 und 5 und A 5 würden also zutreffen. Daß dem aber nicht so ist, wird im nächsten Abschnitt (s. Porengrößen) klar werden, wo sich Unterschiede bezüglich der Struktur ergeben.

Schon zu Anfang dieses Kapitels wurde gesagt, daß die Korngrößenzusammensetzung allein noch kein Wertmesser des Bodens ist (vgl. 17). „Der absolute Tongehalt sagt also über die „Schwere" der Böden entgegen den meist darauf gesetzten Erwartungen nichts aus." (23.)

Die Erscheinungen, die die Hobrechtsfelder Böden zeigen, sind denen der Osdorfer Teilstücke zwar ähnlich, wenn nur die Gesamtzunahme der Teile < 0,1 mm ins Auge gefaßt wird. Bei Betrachtung der einzelnen abgeschlammten Fraktionen dagegen ergeben sich wesentliche Unterschiede; und zwar fällt besonders die Zunahme der feinen Schluff- und Tonteilchen (< 0,01 mm) beim Rieselland auf, die fur diesen reinen Sandboden von außerordentlichem Wert ist; sie hat sowohl in der Krume als auch im Untergrund stattgefunden. Bewegt sie sich im ganzen auch in engen Grenzen, so ist die Grobkörnigkeit des Gesamtmaterials zu bedenken, die die feinen Teilchen vor der Durchschlämmung nicht schützen kann [vgl. auch (18)]. Hier zeigt sich deutlich die Wirkung der Abwasserverrieselung, die dem Boden immer wieder neue organische Substanz zufuhrt und so den Verlust an durchgeschlämmten Teilchen ausgleicht.

Um die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung noch durch eine andere Methode zu erhärten, wurden für die drei Hobrechtsfelder Ackerkrumen die Glühverluste bestimmt.

Teilstück			Mittel
Ho Ro	4,18	4,30	4,24
Ho Ro (Sommer)	4,02	4,06	4,04
Ho No	2,42	2,81	2,62

Sie bestätigen das für den Rieselboden günstige Ergebnis und zeigen eine Steigerung des Anteils der organischen Stoffe um etwa 60% gegenüber dem Naturland. Aus ihnen dürfte ganz besonders die Erhöhung der wasserhaltenden Kraft herzuleiten sein, wie sie in den Abschnitten über Porengrößen und Wassergehalt nachgewiesen werden wird.

Auf die Korngrößen > 0,1 mm soll hier nicht näher eingegangen werden, es sei nur soviel gesagt, daß die Grobsandbestandteile von O II über O I nach Ho zunehmen, was sich mit der allgemeinen Beurteilung der Böden auch deckt.

Wollte man die Böden in die zu Anfang mitgeteilte Bodenskala einordnen, so wären sie insgesamt, da sie weniger als 10% abschlämmbare Teile aufweisen, als Sandböden anzuspre-

chen. Unterschiede innerhalb dieser Grenzen zwischen den Osdorfer und Hobrechtsfelder Böden wirken sich also noch nicht aus, wenn nur von der Korngrößenzusammensetzung ausgegangen wird. Daß aber tatsächlich Unterschiede bestehen, wonach die genannten Böden auch zu beurteilen sind, werden die späteren Abschnitte zeigen.

Zur Feststellung des natürlichen Koagulationszustandes neben der Ermittlung des Tongehaltes aus der mechanischen Bodenanalyse wurde versucht, bei den Osdorfer Böden den sogenannten „Strukturfaktor" zu bestimmen (27, 28). Zu einem Ergebnis sind wir dabei leider nicht gekommen, und zwar wohl aus dem Grunde, weil es sich bei den vorliegenden Böden um zu grobe Korngrößen handelt, die meßbare Unterschiede zwischen natürlicher Aufschlämmung und totaler Peptisation nicht in Erscheinung treten lassen.

2. Porengrößen.

War bisher von der Größe der Teilchen, der mehr starren Komponente des Bodens, die Rede, so soll sich nun die Beschreibung ihrer Lagerung, der mehr veränderlichen Bodeneigenschaft, anschließen.

Es wird dabei nicht auf den absoluten Größenbetrag des Porenvolumens, der ja die Bodenstruktur noch keineswegs kennzeichnet, ankommen, sondern vielmehr auf die genaue Kenntnis der Porengrößenverteilung. Ihre Gegensätzlichkeiten — Riesel- und Naturland — und eigenen Schwankungen (Herbst und Fruhjahr) sollen mit Hilfe der Strukturanalyse erläutert werden. Ihr wurde die Porengrößenermittlung nach Fischer-Donat zugrunde gelegt (29, 30).

Sie beruht darin, daß einem Boden, der ganz mit Wasser gesättigt ist, unter Anwendung vergrößerter Saugspannung stufenweise das Wasser wieder entzogen wird. Die Menge und damit der erfüllt gewesene Porenraum werden gewichtsmäßig ermittelt. Dabei muß die Einschränkung gemacht werden, daß an die Stelle der natürlichen Porengestalt die Idealform einer Kreiskapillaren tritt, um die Gesetze über die kapillare Hubhöhe anwenden zu können. So wird im Folgenden von einem Äquivalentdurchmesser der Kreiskapillaren zu sprechen sein. Nach Donat bestehen folgende Beziehungen zwischen Saugspannung (= vertikaler Abstand der Filterplatte vom Meniskus in der Glasröhre) und Äquivalentdurchmesser:

	Porengruppe				
	I	II	III	IV	V
Saugspannung cm	> 150	150—60	60—30	30—15	< 15
Saugspannung at	> 0,15	0,15	0,06	0,03	< 0,015
Porendurchmesser mm	< 0,02	0,02—0,05	0,05—0,1	0,1—0,2	> 0,2

Sekera (31) weist darauf hin, daß es sich hierbei nur um die groben Kapillaren handelt. Er teilt das ganze Kapillarsystem in drei Teile nach folgendem Schema

	Saugspannung At	Äquivalentdurchmesser mm
Grobe Kapillaren	< 0,3	> 0,01
Mittlere Kapillaren	0,3—1,0	0,01—0,003
Feine Kapillaren	> 1,0	< 0,003

unter besonderer Betonung der Saugspannung von 1 At, die er als Grenze zwischen dem dynamisch wirksamen und dynamisch unwirksamen Anteil des Porenvolumens ansieht. Da es aber bei der Be- und Entwässerung im wesentlichen auf die groben Poren ankommt, werden nur diese ermittelt. Wenn die Einteilung nach Sekera zugrunde gelegt wird, ist der gesamte Porenraum in zwei Teile zerlegt worden; einmal in den Teil, der das leichtbewegliche Wasser (Gruppen II—V) und dann in jenen, der das unbewegliche Filmwasser und die Kapillaren < 0,02 mm (Gruppe I) enthält.

Die Untersuchungen hatten selbstverständlich von der natürlichen Struktur des Bodens auszugehen, wie sie in einem Stechzylinder erhalten geblieben ist. Sie erstreckten sich auf Krume und Untergrund und wurden im Herbst und Frühjahr durchgeführt. Was die Ausführung der Analyse sowie die Darstellung der Apparatur betrifft, sei auf die Originalarbeit verwiesen (29, 30) und hier nur noch eine kleine Abänderung vermerkt, die aus Billigkeitsgründen vorgenommen wurde. An Stelle einer Bürette, wie sie Donat verwendet, wurde eine einfache Glasröhre an einem Gestell neben einer Dezimeterskala beweglich angebracht. An ihr war der Meniskus einwandfrei einzustellen, wie es der erforderlichen Saugspannung entsprach. Der Nullpunkt der Skala lag mit der Oberkante des Filters (Kennziffer 17 G 4 von Schott und Gen., Jena) in einer Ebene. Die Sättigung der Bodenprobe im Entnahmering geschah in einem Becherglas, nachdem beide Deckel des Zylinders entfernt und ein Ende desselben mit Leinwand verschlossen war, durch die das Wasser von unten in den Boden eindringen konnte. Beim Einsetzen der gesättigten Probe in die Filternutsche wurde darauf geachtet, daß der Stechzylinder aufrecht stand, so wie er auf dem Felde in den Boden eingedrückt worden war.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einer graphischen Darstellung (Abb. 1) aufgetragen worden. Sie stammen aus Parallelversuchen, die eine sehr gute Übereinstimmung aufwiesen. Die größte Abweichung des Mittels gegen die einzelne Untersuchung betrug im Maximum 2,0% des Gesamtporenvolumens; sie trat auf bei O I R und in der Porengruppe I. O II und Ho zeigten sehr viel geringere Schwankungen; bei O II R wurde je eine Probe aus einer sommerlichen Nassestelle — einem sogenannten Nest (s. S. 278) und deren Rande entnommen; Unterschiede in der Porengrößenzusammensetzung — wie sie vielleicht erwartet werden durften — ergaben sich aber nicht.

Herbstversuch.

O II. Der Rieselboden zeigt gegenuber dem Naturboden einen außerordentlich hohen Anteil feinster Poren — 85% zu 43% bzw. 49% —, bei Gleichheit in Krume und Untergrund. Wenn die Porengrößenverteilung als Maßstab diente, wäre O II R nach Donat (30) in die Gruppe der tonigen Lehme einzuordnen. Solche krassen Unterschiede sind nur mit der großen Hydratationsenergie des Bodens zu erklären. Das von O II R in der Porengruppe I festgelegte Wasser besteht nämlich zum überwiegenden Teil aus Haftwasser, das sich aus hygroskopischem Wasser, Porenwinkel- und Filmwasser zusammensetzt (32). Wir haben es bei dem Rieselboden mit einem hydrophilen Typus zu tun, wobei die Schichthüllenstärke des die Bodenteilchen umgebenden Wassers größer anzunehmen ist als beim Naturboden.

Sekera (31) weist in seiner bereits angeführten Arbeit darauf hin, daß der dynamisch wirksame Kapillarraum im Na-Boden — und solcher liegt mit

Herbst — Frühjahr

Rieselland (Krume, Untergrund) — Naturland (Krume, Untergrund)

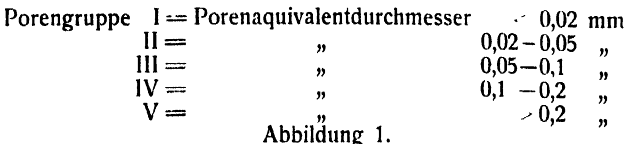
Osdorf II

Osdorf I

Hobrechtsfelde

Anteil d. Porengruppe v. H

Porengruppe I II III IV V



Porengruppe		Porenaquivalentdurchmesser	
I	=	Porenaquivalentdurchmesser	< 0,02 mm
II	=	„	0,02 – 0,05 „
III	=	„	0,05 – 0,1 „
IV	=	„	0,1 – 0,2 „
V	=	„	> 0,2 „

Abbildung 1.

dem Rieselboden vor — enger anzunehmen ist als etwa im Ca-Boden. Auch Donat (30) stellt eine Zunahme der Porengruppe I fest, wenn er den Boden mit NaCl-Lösung behandelt.

Die wasserhaltenden Oberflächenkräfte sind dabei so erheblich, daß die Bodenzwischenräume nahezu ganz mit Schwarmwasser angefüllt sind. Die Poren werden damit eingeengt und geben dem verhältnismäßig geringen Saugdruck von 150 cm Wassersäule nicht nach. Nur so ist der hohe Anteil der feinsten Poren zu erklären.

Die Verteilung der Poren im Naturboden zeigt eine größere Ausgeglichenheit, wenn auch die feinen Poren noch vorherrschen und der Boden an der größten Weite noch Mangel leidet (Gruppe V). Auch die Unterschiede zwischen Krume und Untergrund treten entsprechend der aus dem zunehmenden Bodendruck folgenden dichteren Lagerung in Erscheinung.

O I. Auch hier ist eine Zunahme der feinen Poren des Riesellandes gegenüber dem Naturland zu beobachten, wenngleich sie sich in engeren Grenzen hält als bei O II. Auffällig ist die erhebliche Abnahme der groben und mittleren Poren bei O I Ru — mit anderen Worten das Eintreten der Verschlämmung —, die in Übereinstimmung mit der dichten Lagerung steht (s. Wassergehalt) und sich mit dem Befund deckt, der sich gelegentlich der Ausführung von Vorversuchen im Sommer 1937 zeigte. Der Untergrund hatte sich infolge der Trockenheit ortsteinartig, vgl. Hilgard (33), der von „irrigationhardpan" (Bewässerungsortstein) spricht, verhärtet, daß es nicht möglich war, Bodenproben im Stechzylinder zu entnehmen. Dieser konnte weder mit der Hand noch mit einem Schlaginstrument in den Boden eingetrieben werden. Die Dichtschlämmung dürfte dabei in engem Zusammenhang mit dem Einspülen von Kochsalz in den Boden stehen (34). Im ganzen machen sich auch bei O I die Einflüsse der Berieselung geltend. Wenn auch selbst O I N keinen überragenden Anteil der groben Proben hat, so ist doch bei O I R eine weitere Einengung der Poren festzustellen. Der Gehalt der Gruppen IV und V, die für die Lufthaltung des Bodens in Frage kommen (35), ist äußerst mangelhaft. Auf einen schnellen und gründlichen Gasaustausch kommt es aber im Rieselboden besonders an.

Wurde bei der Beschreibung der Textur darauf hingewiesen, daß eine Berechtigung zur minderen Einschätzung von O I gegenüber O II kaum vorliegt, so ergeben sich aus der Porengrößenverteilung eindeutige Unterschiede.

Ho. War die Zunahme der engen Teilchenzwischenräume bei O II und O I eher als ein Nachteil zu werten, so bildet sie bei dem Hobrechtsfelder Rieselboden eine erhebliche Verbesserung. Bei ihm kommt alles darauf an, eine möglichst hohe Wasserhaltefähigkeit, also enge Poren, zu schaffen. In welchem Umfange dieses gelungen ist, zeigt die graphische Darstellung. Die Krume hat ihren Anteil an Porengruppe I fast verdoppelt, und die Erhöhung wirkt sich auch noch im rein sandigen Untergrunde aus. Der Erfolg der

Anreicherung an Ton- und Humusteilchen, die die wichtigsten Wasserträger sind, ist hier besonders klar zu erkennen. Die verhältnismäßig minimale Erhöhung der abschlämmbaren Teile tritt bei der Vergrößerung der Wasserhaltefähigkeit bereits erheblich in Erscheinung. Laatsch (18) weist darauf hin, daß es gerade die Schwarmionen der kleinsten Bodenteilchen sind, die den Wassergehalt bestimmen, und daß auf ihn die Quarzkörner und groben Mineralpartikel, aus denen sich der Hobrechtsfelder Boden aber hauptsächlich zusammensetzt, wenig Einfluß haben.

Frühjahrsversuch.

Bei der Gegenüberstellung zum Herbstversuch soll es sich nicht um Erklärung von bestimmten Wirkungen handeln, wie sie etwa der Winter auf den Boden ausubt. Die Frosteinwirkungen sind zu wenig geklärt, als daß sie zum Gegenstand eines vergleichenden Maßstabes genommen werden können (36), andererseits dürften Nachwirkungen auch bereits durch z. T. vorgenommene Bodenbearbeitung überdeckt worden sein. Es kam vielmehr auf die Kenntnis einer möglichen Veranderung uberhaupt an.

O II. Der Rieselboden zeigt das gleiche Bild fast auf die einzelnen Prozente genau wie im Herbstversuch trotz der Bodenbearbeitung! Dabei fällt wieder der überragende Anteil der feinen Poren auf. Der Naturboden läßt dagegen einige Unterschiede erkennen, die auf eine gewisse Bodentatigkeit schließen lassen. In der Krume ist bei gleichgebliebenem Anteil der feinsten Poren ein Ausgleich der Porengruppen II—V festzustellen; dabei hat die Summe der gröbsten Zwischenräume (IV + V) von 12 auf 28% zugenommen, während die mittleren Gruppen (II + III) von 47 auf 29% abgenommen haben. Im Untergrund dagegen haben die feinsten Poren auf Kosten aller übrigen Gruppen noch um 9% zugenommen. Im ganzen ist beim Naturland in der Krume eine Zunahme der groben Proben, im Untergrund dagegen eine solche der feinen Poren zu vermerken.

O I. Beim Rieselboden fällt sowohl in der Krume als auch im Untergrund eine Abnahme der Porengruppe I auf (um 10 und 7% gegenüber dem Herbst), wobei in der Krume die Veränderung den groben Poren (Gruppen IV und V) zugute kommt. Beim Untergrund kann nur von einer zögernden Umformung des Porenraumes gesprochen werden. Das Naturland zeigt als besonders auffälliges Merkmal in der Krume eine erhebliche Abnahme der für den Lufthaushalt wichtigen Porengruppen IV und V (von 24 auf 8%), dafur nahm die Gruppe I, die kein spannungsfreies Wasser mehr enthält, um 6% zu. Im Untergrund kann praktisch von dem gleichen Zustand wie im Herbst gesprochen werden; die Abnahme der gröbsten Poren um 2% wird bei dem an und für sich geringen Anteil dieser Gruppe kaum ins Gewicht fallen.

Im ganzen haben sich die Unterschiede, die im Herbst zwischen Riesel- und Naturland deutlich erkennbar waren, verwischt, und es ist im Frühjahr eine Annäherung der Strukturen beider Böden zu

beobachten. Ähnliches wird sich für O I auch beim Wassergehalt (vgl. Abb. 2) und der Krümelung der Böden (vgl. S. 299) ergeben.

Ho. Die Hobrechtsfelder Böden zeigen die größte Tätigkeit und Wandlungsfähigkeit von allen, die untersucht wurden. Solches wird besonders deutlich in der starken Angleichung von Riesel- und Naturland, und zwar vornehmlich in der Krume. Aber auch im Untergrund ist sowohl beim Rieselland als beim Naturland eine Tendenz in der Anteilsteigerung der feinen Poren und Abnahme der groben Teilchenzwischenräume zu erkennen. Es scheint so, als ob im Frühjahr beide Böden zumindest in der Krume gleichen Leistungsgrad bezüglich des Wasserhaltevermögens besitzen, der mit fortschreitender Vegetation erheblich absinkt (um 18% in Gruppe I), sich beim Rieselboden aber nur geringfügig in einer Abnahme von 7% der Gruppe I bemerkbar macht.

Die Verbesserung in der Krume des Riesellandes gewinnt noch besonders an Wert durch die gleichzeitige Veränderung, die auch im Untergrunde vor sich gegangen ist; hier haben die feinen Poren von 14 auf 32% zugenommen. Mit dieser Erhöhung vermag der Naturlandboden nicht ganz Schritt zu halten, sein Anteil ist nur von 8 auf 16% gestiegen.

Wurden in der Gegenüberstellung von Riesel- und Naturland im vorstehenden gewissermaßen Querschnitte dargestellt, so sollen im folgenden die Ergebnisse noch einmal kurz in einem Langsschnitt für Riesel- und Naturland zusammengefaßt werden unter dem Gesichtspunkt der Wandlungsfähigkeit der einzelnen Böden vom Herbst zum Frühjahr.

Rieselland.

O II zeigt ein nahezu starres Bodengefuge, dagegen O I sowie Ho in allen Porengruppen eine z. T. erhebliche Wandlungsfähigkeit. Die Art der Verteilung der Porengruppen läßt -- am deutlichsten in Ho -- erkennen, daß der Riesellandboden mit dem Eintritt der Vegetationsperiode ein gewisses Optimum seiner Struktur erreicht hat.

Naturland.

Die Osdorfer Böden zeigen kaum eine Veranderung hinsichtlich der Porengruppe I; die übrigen Gruppen sind wohl einem mehr oder minder starken Wechsel und gegenseitigen Austausch unterworfen, der aber nicht so erheblich ist, daß damit von einer Wertänderung der Struktur gesprochen werden kann.

Ho macht dagegen in der Krume eine Ausnahme, indem die Struktur eine so umfangreiche Umwandlung durchgemacht hat, daß ein ähnliches Bild wie bei dem entsprechenden Riesellandboden entsteht. Die Wandlungsfähigkeit des Untergrundes tritt daneben vollkommen zuruck; hier wird sich die Wasserhaltefähigkeit in denselben engen Grenzen wie im Herbst halten, was aus dem geringen Anteil der Porengruppe I zu schließen ist. Ein Befund, der übrigens seine Bestätigung im Abschnitt über den Wassergehalt (vgl. Abb. 2) findet.

3. Wassergehalt.

Textur und Struktur, die bereits beschrieben wurden, bedingen hauptsächlich den jeweiligen Wassergehalt. Daneben steht dieser auch noch in Abhängigkeit von Witterung, Pflanzenbestand u. a. m.; diese Bedingungen wurden aber bei der Auswahl der Teilstücke, im gemeinsamen Zeitpunkt der Probennahme usw. weitgehend berücksichtigt, so daß bei Ausschaltung dieser Faktoren ein Vergleich der einzelnen Bodenpaare berechtigt erscheinen darf. Die Ermittlung erstreckte sich nur auf den augenblicklichen Wassergehalt, nicht aber auf die Wasserhaltefähigkeit, Wc genannt. Ihre Bestimmung am gewachsenen Boden war aus technischen Gründen nicht möglich, reine Laboratoriumsmethoden wurden aber verworfen, weil sie das für die Wasserhaltung eines Bodens wesentliche, seinen natürlichen Verband, nur ungenügend beachten.

Auf möglichst einwandfreie Probennahme wurde, wie bereits erwähnt, allergrößter Wert gelegt. Dabei stellen sich dann die unvermeidlichen Fehler noch als groß genug heraus, daß neben ihnen die des Laboratoriums kaum ins Gewicht fallen (37). Ferner sind die Schwankungen des Wassergehalts auf einem Teilstück so groß (38, 39), daß es nicht nur auf die Güte der Versuchsanstellung, sondern auch auf die Entnahme einer großen Anzahl von Proben ankommt. Sie erfolgte, wie bereits oben mitgeteilt ist, im Stechzylinder — zum Transport in diesem und auch in Pergamenttüten — also volumenmäßig, als auch in Reagensgläsern gewichtsmäßig.

Da Böden mit verschiedenem spezifischen Gewicht miteinander verglichen wurden, war es notwendig, den gewichtsmäßig festgestellten Wassergehalt in Volumen-% umzurechnen. Die Umrechnung erfolgte durch Multiplikation des Wassergehalts in Gewichts-% mit dem sogenannten scheinbaren spezifischen Gewicht oder Volumengewicht [vgl. Faktor f (40, 35)]. Im 100-ccm-Zylinder ergab sich

$$\text{Wassergehalt in Volumen-\%} = \text{Gewicht der Wassermenge,} \qquad (1)$$

die aus der Gewichtsdifferenz zwischen Frisch- und Trockengewicht bestimmt wurde. Das Trockengewicht ist zugleich das Volumengewicht, das aus einer genügend großen Anzahl von Zylindern und Tüten einwandfrei ermittelt wurde.

Aus den Reagenzgläsern ergab sich

$$\text{Wassergehalt in Gewichts-\%} = \frac{\text{Gewicht der Wassermenge} \times 100}{\text{Gewicht des trockenen Bodens.}} \qquad (2)$$

Auf die Gesamtanzahl der Proben wird noch zuruckzukommen sein; sie ist auch aus Abb. 3—14 ersichtlich.

Das spezifische Gewicht wurde mit dem Pyknometer bestimmt, und zwar für jedes Teilstück gesondert aus 4 Wägungen.

Das Porenvolumen errechnete sich dann nach

$$\text{Porenvolumen} = \frac{(\text{spezifisches Gewicht} - \text{Volumengewicht}) \times 100}{\text{spezifisches Gewicht}} \qquad (3)$$

Die durch die Rechnung gewonnenen Werte standen übrigens in guter Übereinstimmung mit den direkten Messungen des Porenvolumens, wie sie bei der Strukturanalyse ausgeführt wurden. Die Abweichungen betrugen in Hobrechtsfelde im Maximum 5% (im Untergrund), was leicht mit dem grobkörnigen Sandboden zu erklären ist, der schwer eine volle Sättigung seiner gröbsten Poren zuließ. In Osdorf sanken die Unterschiede auf 3% des Gesamtporenvolumens. Trotz der genügenden Übereinstimmung sei hier doch mit Blohm (41) auf die Schwierigkeiten der Probeentnahme hingewiesen, die sich in Schwankungen des Porenvolumens zuerst und am stärksten spürbar machen wird. Um das Verhältnis Wasser : Luft im Porenraum zu veranschaulichen und auf die Abhängigkeit einer möglichen Wassermenge in einem bestimmten Porenvolumen hinzuweisen, wurde in Spalte 6 (Tab. 3—5) auch noch der Wassergehalt im Porenvolumen-% angegeben (19). Der Luftgehalt (Lg) ergibt sich aus der Differenz

$$\text{Luftgehalt} = \text{Porenvolumen} - \text{Wassergehalt} \qquad (4)$$

Tabelle 3.

Entnahme-stelle	Spezifisches Gewicht	Herbst 1937					Frühjahr 1938				
		Volumen-gewicht	Poren-volumen	Wassergehalt		Luftgehalt	Volumen-gewicht	Poren-volumen	Wassergehalt		Luftgehalt
				Volu-men %	Poren-volu-men %				Volu-men %	Poren-volu-men %	
					O II Ro						
A	2,54	1,80	29,1	25,4	89,0	3,7	1,70	34,0	25,2	74,1	8,8
B	2,61	1,77	32,2	31,7	98,4	0,5	1,71	33,2	25,6	77,1	7,6
C	2,53	1,85	26,9	25,9	96,3	1,0	1,76	31,2	23,2	74,4	8,0
D	2,56	1,86	27,4	23,2	84,6	4,2	1,71	33,2	24,0	72,3	9,2
Mittel	2,56	1,82	28,9	26,5	92,1	2,4	1,72	32,9	24,5	74,5	8,4
					O II Ru						
A	2,61	1,88	28,0	24,9	89,0	3,1	1,84	29,2	21,1	72,3	8,1
B	2,63	1,82	30,8	30,8	100,0	—	1,84	29,2	23,2	79,5	6,0
C	2,61	1,84	29,5	26,8	90,9	2,7	1,83	29,6	22,4	75,7	7,2
D	2,60	1,89	27,3	25,0	91,6	2,3	1,81	30,4	23,6	77,7	6,8
Mittel	2,60	1,86	28,9	26,9	92,9	2,0	1,83	29,6	22,6	76,3	7,0
					O II No						
A	2,54	1,74	31,5	18,7	59,4	12,8	1,43	43,7	19,0	43,5	24,7
B	2,51	1,73	31,1	20,4	65,6	10,7	1,47	42,1	23,2	55,0	18,9
C	2,55	1,78	30,2	17,4	57,6	12,8	1,41	44,5	15,8	35,5	28,7
	2,56										
Mittel	2,54	1,75	30,7	18,8	60,9	12,1	1,44	43,4	19,3	44,7	24,1
					O II Nu						
A	2,63	1,84	30,0	17,6	58,7	12,4	1,63	37,8	18,9	50,0	18,9
B	2,62	1,86	29,0	16,0	55,2	13,0	1,65	37,0	20,0	54,0	17,0
C	2,62	1,89	27,9	16,7	59,9	11,2	1,70	35,1	18,6	53,0	16,5
	2,61										
Mittel	2,62	1,86	29,0	16,8	57,9	12,2	1,66	36,6	19,2	52,3	17,4

Die Ergebnisse werden an Hand von drei verschiedenen Darstellungen mitgeteilt:

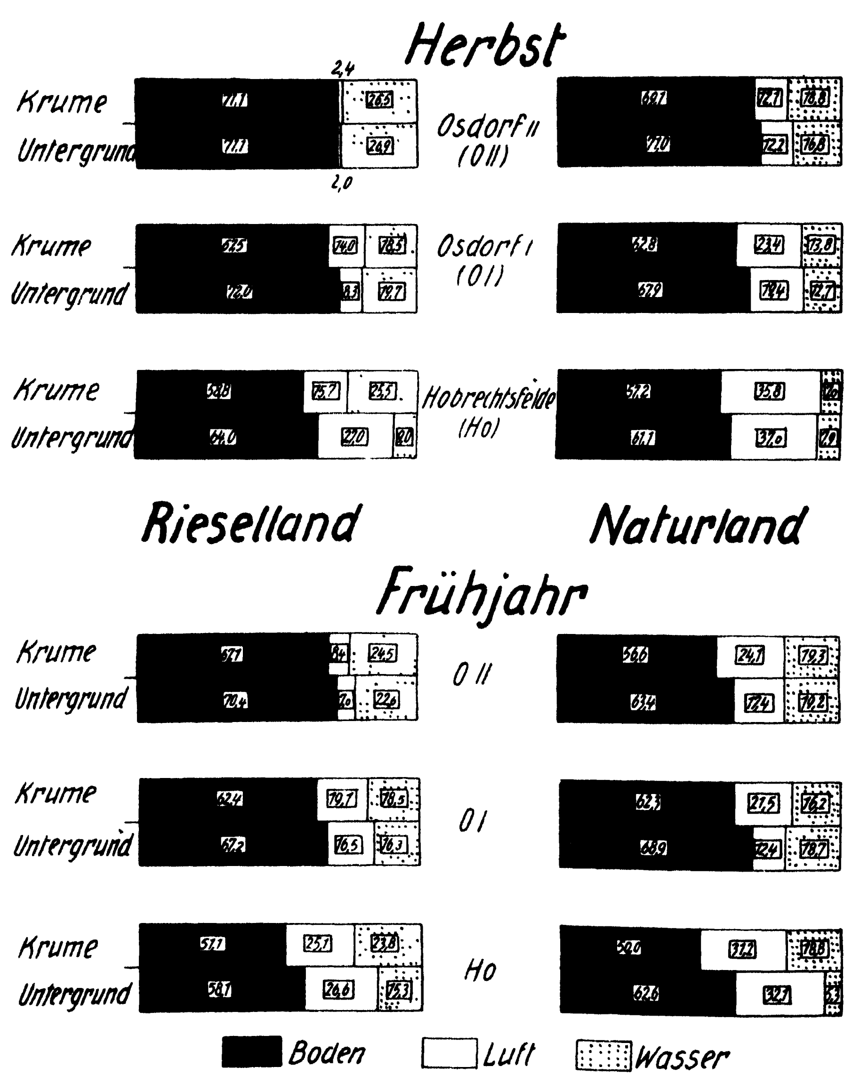
1. In den Tabellen 3—5 sind die ermittelten Werte aus den Untersuchungen im Herbst und Frühjahr angegeben, und zwar reihenweise nach den Entnahmestellen A—D geordnet. Die Mittel sind, wie aus den mittleren Schwankungen zu ersehen ist, hinreichend gesichert. Besonders für das Volumengewicht mußte das aus dem Grunde gefordert werden, weil von ihm die Richtigkeit der Umrechnung des Gewichts-% Wassergehalts (für die Schichtlinien) weitgehend abhing.

2. In der graphischen Darstellung (Abb. 2), die in anschaulicher Weise das Verhältnis Boden : Luft : Wasser zeigen soll. Die aufgetragenen Werte sind die Mittelwerte aus den Tabellen 3—5.

3. In Form von maßstäblichen Lageplänen (Abb. 3—14). An den Stellen, die mit einem Kreuz gekennzeichnet sind, wurden Proben entnommen und der Wassergehalt bestimmt. Soweit er in

Gewichts-% ermittelt wurde, erfolgte seine Umrechnung auf Volumen-%. Nach Art von Schichtlinien wurden Interpolationsstellen gleichen Wassergehaltes miteinander verbunden; es entstanden so Wassergewichtskurven, die ein ungefähres Bild von der Feuchtigkeit und ihrer Verteilung im Boden geben. Dasselbe kann kein ganz naturgetreues sein, weil der Boden in seiner Vielfalt zu große Schwankungen engbenachbarter Stellen aufweist (38).

Anteile von Boden—Luft-Wasser.



Zahlen = Menge in Volumen-%.
Abbildung 2.

Tabelle 4.

Entnahme-stelle	Spezifisches Gewicht	Herbst 1937					Frühjahr 1938				
		Volumen-gewicht	Poren-volumen	Wassergehalt		Luftgehalt	Volumen-gewicht	Poren-volumen	Wassergehalt		Luftgehalt
				Volu-men %	Poren-volu-men %				Volu-men %	Poren-volu-men %	
					O I Ro						
A	2,54	1,66	34,6	17,0	49,1	17,6	1,49	41,6	16,3	39,2	25,3
B	2,56	1,75	31,6	17,6	55,7	14,0	1,61	37,3	21,2	56,9	16,1
C	2,53	1,74	31,2	21,2	67,9	10,0	1,64	35,7	20,0	56,0	15,7
D	2,56	1,73	32,4	18,1	55,9	14,3	1,64	35,7	16,4	46,0	19,3
Mittel	2,55	1,72	32,5	18,5	57,2	14,0	1,60	37,6	18,5	49,5	19,1
					O I Ru						
A	2,62	1,85	29,4	16,3	55,5	13,1	1,72	34,1	15,7	46,0	18,4
B	2,61	1,92	27,5	17,4	63,3	10,1	1,80	31,0	14,3	46,2	16,7
C	2,60	1,90	26,9	25,3	94,0	1,6	1,77	32,2	19,5	60,5	12,7
D	2,61	1,88	28,0	19,7	70,4	8,3	1,73	33,7	15,8	47,0	17,9
Mittel	2,61	1,89	28,0	19,7	70,8	8,3	1,76	32,8	16,3	49,9	16,5
					O I No						
A	2,59	1,59	38,6	13,4	34,7	25,2	1,69	34,1	16,9	49,5	17,2
B	2,57	1,65	35,8	14,4	40,2	21,4	1,60	38,0	16,8	44,2	21,2
C	2,58	1,63	36,8	13,8	37,5	23,0	1,54	40,3	16,4	40,7	23,9
D	2,59	1,62	37,5	13,5	36,0	24,0	1,59	38,4	14,8	38,5	23,6
Mittel	2,58	1,62	37,2	13,8	37,1	23,4	1,60	37,7	16,2	43,2	21,5
					O I Nu						
A	2,62	1,77	32,4	13,7	42,3	18,7	1,65	36,4	17,7	48,6	18,7
B	2,60	1,77	31,9	12,4	38,9	19,5	1,92	26,4	18,1	68,6	8,3
C	2,62	1,77	32,4	12,0	37,0	20,4	1,74	33,3	16,8	50,5	16,5
D	2,60	1,75	31,9	12,8	40,1	19,1	1,87	28,4	22,4	78,9	6,0
Mittel	2,61	1,77	32,1	12,7	39,6	19,4	1,80	31,1	18,7	61,6	12,4

Die in den Plänen verzeichneten Zahlen gehören zu dem später zu behandelnden Abschnitt über Durchluftung.

Die Besprechung der Ergebnisse kann sich auf die Punkte 2 und 3 beschränken. Zu 1., den Tabellen 3—5, die die Grundlage der graphischen Darstellungen bilden, sei lediglich bezüglich O II R erwähnt, daß eine Rekonstruktion des Nestes — aus dem Herbst — nicht möglich war. Der Wassergehalt zeigte sich im Frühjahr ziemlich ausgeglichen.

Zu 2. Boden — Luft — Wasser.

Herbstversuch.

O II. Im Rieselland unterscheiden sich Krume und Untergrund hinsichtlich der Dichte der Lagerung überhaupt nicht, in dem Anteil des Porenraumes nur so geringfügig, daß praktisch von einer Gleichheit gesprochen werden kann. Gleiches Verhalten der verschiedenen Horizonte hatte sich auch schon bei der Bestimmung

Tabelle 5.

Entnahmestelle	Spezifisches Gewicht	Herbst 1937 Volumengewicht	Porenvolumen	Wassergehalt Volumen %	Wassergehalt Porenvolumen %	Luftgehalt	Frühjahr 1938 Volumengewicht	Porenvolumen	Wassergehalt Volumen %	Wassergehalt Porenvolumen %	Luftgehalt
					Ho Ro						
A	2,41	1,39	42,3	28,0	66,1	14,3	1,21	49,7	24,3	49,0	25,4
B	2,41	1,40	42,0	27,1	64,5	14,9	1,37	43,2	19,4	45,0	23,8
C	2,43	1,47	39,5	21,6	54,6	17,9	1,15	52,3	25,5	48,8	26,8
D	2,41	1,42	41,0	25,4	62,0	15,6	1,20	50,3	25,9	51,5	24,4
Mittel	2,41	1,42	41,2	25,5	61,8	15,7	1,24	48,9	23,8	48,6	25,1
					Ho Ru						
A	2,62	1,70	35,1	9,5	27,1	25,6	1,59	39,3	13,1	33,4	26,2
B	2,63	1,64	37,6	8,8	23,4	28,8	1,36	48,0	20,3	42,3	27,7
C	2,61	1,67	36,0	8,7	24,2	27,3	1,54	41,2	16,1	39,1	25,1
D	2,60	1,68	35,4	9,2	26,0	26,2	1,60	39,0	11,5	29,5	27,5
Mittel	2,62	1,67	36,0	9,0	25,2	27,0	1,52	41,9	15,3	36,1	26,6
					Ho No						
A	2,56	1,49	41,8	6,4	15,3	35,4	1,25	51,2	15,6	30,5	35,6
B	2,53	1,50	41,2	4,5	10,9	36,7	1,41	45,0	13,7	30,5	31,3
C	2,59	1,42	45,2	10,6	23,5	34,6	1,26	50,4	22,4	44,5	28,0
D	2,56	1,46	43,0	6,3	14,7	36,7	1,19	53,5	23,7	44,3	29,8
Mittel	2,56	1,48	42,8	7,0	16,1	35,8	1,28	50,0	18,8	37,4	31,2
					Ho Nu						
A	2,64	1,58	40,2	4,6	11,5	35,6	1,65	37,5	5,5	14,7	32,0
B	2,63	1,60	39,2	5,4	13,8	33,8	1,63	38,3	3,4	8,9	34,9
C	2,64	1,64	37,9	12,2	32,2	25,7	1,62	38,6	6,9	17,9	31,7
D	2,63	1,62	38,4	9,3	24,2	29,1	1,71	35,2	5,4	15,3	29,8
Mittel	2,64	1,61	38,9	7,9	20,4	31,0	1,65	37,4	5,3	14,2	32,1

der Porengrößen gezeigt. Sichtbaren Ausdruck findet dieses Resultat aber in dem hohen Wassergehalt, der zu etwa 75% das Porenvolumen erfüllt. Dabei ist noch besonders zu betonen, daß der Entnahmetag (10. September) am Ende einer Trockenperiode lag, die z. T. recht hohe Temperaturen (um 20° C) aufwies. Die Verdunstung des Bodens war also sehr gering; das Wasser muß demnach mit großer Kraft festgehalten worden sein, was durch die Porengrößen vollkommen bestätigt wird.

Dem steht das Naturland mit einer unterschiedlichen Lagerungsdichte und vor allem mit einer ganz anderen Zusammensetzung des Porenvolumens gegenüber. Sie läßt in ihrem Verhältnis Wasser : Luft darauf schließen, daß wahrscheinlich genügend spannungsfreier Porenraum vorhanden ist, der der Luftzirkulation dienen kann. Zum Teil wurde diese Annahme auch in den Porengrößen bestätigt gefunden.

O I. Im Untergrund des Riesellandes ergaben sich für die Volumen-% Bodenmenge 72,0, der höchste Wert, der bei allen

untersuchten Böden überhaupt gefunden wurde (vgl. auch das hohe Volumengewicht von 1,89 in Tab. 4). Es ist das zugleich eine Bestätigung für die Härte und Dichtschlämmung des Bodens, wie sie bei den Vorversuchen festgestellt wurde (s. unter Porengrößen). Die Entnahme erfolgte 11 Tage später als bei O II (21. September), nachdem eine Regenperiode eingesetzt hatte. Trotzdem ist der Wassergehalt geringer als dort, was seinen Grund vornehmlich in der andersartigen Zusammensetzung der Poren haben dürfte.

Das Naturland ist lockerer gelagert; hier hat besonders der Luftgehalt zugenommen (fast 1/4 des Gesamtvolumens!). Der Anteil des Bodenmaterials ist gesunken und mit ihm der Wassergehalt gegenüber dem Rieselland.

H o. Der Hobrechtsfelder Boden laßt die Veränderung, die er durch die Berieselung erfahren hat, am deutlichsten als eine Verbesserung erkennen. Während die Lagerungsdichte nur geringfügig — in der Krume um 1,6%, im Untergrund um 2,9% — zugenommen hat, sind die Auswirkungen in der Wasserhaltefähigkeit um so stärker. Der Grund wird vor allem in der Anreicherung der feinsten Teilchen und besonders darin zu suchen sein, daß sie sich aus organischen Stoffen zusammensetzen (s. Gluhverlust). Ein Teil des ungewöhnlich hohen Wassergehaltes in der Krume des Riesellandes, der mit der Aufsaugfähigkeit der organischen Stoffe zu erklären ist, mag allerdings auf den Umstand zurückzuführen sein, daß die Proben etwa 24 Stunden nach einem starken Gewitterregen (8,1 mm) entnommen wurden. Könnte das Ergebnis auch hierdurch etwas verdeckt worden sein, so bleibt doch die Anreicherung der das Wasser zuruckhaltenden Stoffe allein schon ein Gewinn, abgesehen davon, wie groß deren Kraft ist, das Wasser für einen bestimmten Zeitraum zu speichern.

Das Naturland, dem die Proben am gleichen Tage entnommen wurden, läßt wegen seines groben Materials und Mangels an organischen Stoffen (s. Korngrößen und Glühverlust) die hohe Durchlässigkeit erkennen, denen die Niederschläge ausgesetzt sind. Ferner findet diese ihre Bestätigung in den Porengrößen, die mit dem hohen Anteil der mittleren und weitporigen Gruppen in der Krume zu etwa 70%, im Untergrund zu etwa 90% aus spannungsfreiem Porenraum bestehen (vgl. Abb. 1). Die geringe Wasserhaltefähigkeit ist in auffallendem Gegensatz zum Rieselland sehr deutlich an 7,0 und 7,9% als Wassergehalt nach einem Regen abzulesen.

Frühjahrsversuch.

O II. Im Vergleich mit dem Herbstversuch ist beim Rieselland nur eine geringfügige Umformung in der Zusammensetzung Boden — Luft — Wasser festzustellen. Die Abnahme des Bodenanteils ist zu klein, als daß eine grundlegende Umgestaltung des Porenraumes hätte eintreten können. Der Luftgehalt, der zwar gestiegen ist, ist immer noch als mangelhaft anzusehen. Beim Naturland ist dagegen eine wesentliche Auflockerung zu erkennen, die

sich fast in ihrem ganzen Ausmaß auf die Luftführung des Bodens auswirkt. Der Wassergehalt ist nur wenig gestiegen, was übrigens in guter Übereinstimmung mit den Resultaten aus der Porengrößenverteilung steht (vgl. Abb. 1), entsprechen doch den Schwankungen der Porengruppe I jeweils die Änderungen des Wassergehaltes in der Abbildung 2. Auch bezüglich des Riesellandes sei auf einen Vergleich mit der Porengrößenzusammensetzung hingewiesen; es war auf Seite 271 von einem starren Bodengefüge gesprochen worden, was nun in der Zusammensetzung Boden — Luft — Wasser ebenfalls seine Bestätigung findet.

O I. Beide Böden — Riesel- und Naturland — befinden sich bezüglich Porengrößenverteilung und Zusammensetzung Boden — Luft — Wasser in guter Übereinstimmung. Im Rieselland hat der Prozentgehalt an Bodensubstanz abgenommen, was sich in einer erheblichen Zunahme des Luftgehalts auswirkt. Dem entspricht in den Schaubildern der Porengrößen (Abb. 1) die Abnahme der Porengruppe I und Zunahme der weiten Poren (Gruppen IV und V). Das Naturland zeigt bei derselben Lagerung wie im Herbst eine Erhöhung des Wassergehalts, die sich entsprechend in einer Einengung des Luftgehalts und bei den Porengrößen in der Abnahme der Porengruppen IV und V bemerkbar macht. Was schon im Abschnitt über die Porengrößenverteilung gesagt wurde, wird hier nochmals besonders deutlich: die starke Annäherung von Riesel- und Naturland. Die geringe Änderung in der Bodenstruktur im Vergleich zu O II ist auf die noch nicht ausgeführte Frühjahrsbeackerung zurückzuführen.

H o. Eine erhebliche Bodentätigkeit zeigen die Hobrechtsfelder Teilstücke sowohl im Rieselland als auch im Naturland. Während die Prozentabnahme der Bodensubstanz bei beiden vom Herbst zum Frühjahr in der Krume gleichmäßig etwa 7% beträgt, machen sich im Untergrunde Unterschiede bemerkbar. Das Rieselland zeigt eine Auflockerung um etwa 6%, das Naturland eine Verdichtung um 1,5%. Die Unterschiede dürften sich daraus ergeben, daß das Rieselland bereits gepflügt, das Naturland noch unbeackert war. Die schon vorgenommene bzw. noch ausstehende Bodenbearbeitung hat auch als Grund für das Verhältnis Luft : Wasser in den untersuchten Teilstücken zu gelten.

Das Rieselland zeigt n a c h dem Pflügen und Eggen eine erhebliche Steigerung seines Luftgehaltes (um etwa 10%), wobei die Menge des Wassers in der Krume ebenso hoch wie im Herbst geblieben, ja im Untergrund sogar noch gestiegen ist. Diese Tatsache der hohen Wasserhaltefähigkeit war übrigens nach den Resultaten aus der Porengrößenverteilung zu erwarten (vgl. Abb. 1). Die Zunahme der Wassermenge spiegelt sich in dem Ansteigen der Porengruppe I im Frühjahr deutlich wieder.

Das Naturland hat in der Krume eine Steigerung des Wasseranteils erfahren, während der Untergrund wegen seiner Durchlässigkeit eine nur sehr geringfügige Veränderung gegenüber dem Herbst aufzuweisen hat. Beides ist mit der n o c h n i c h t e r f o l g-

Wassergehaltsschichtlinien und Luftdurchlässigkeit.

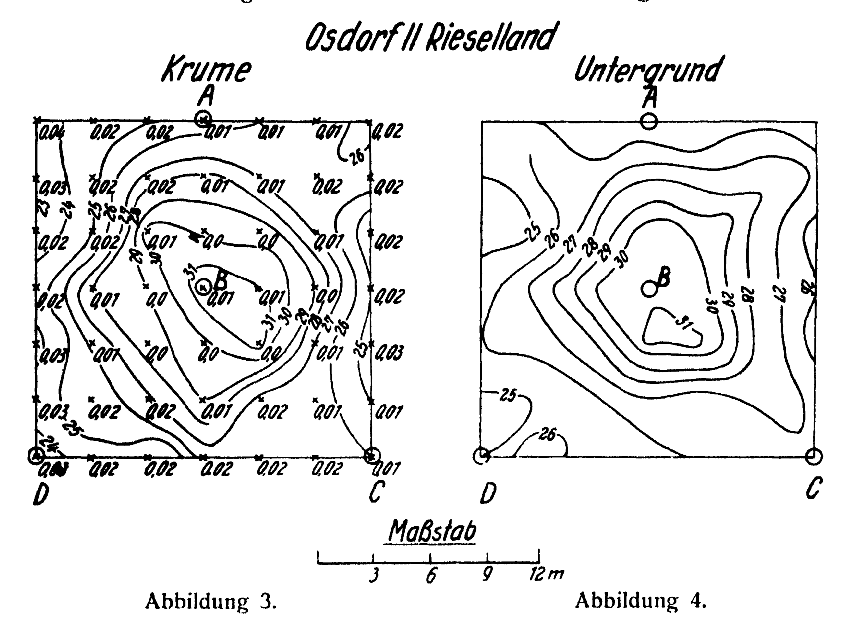


Abbildung 3. Abbildung 4.

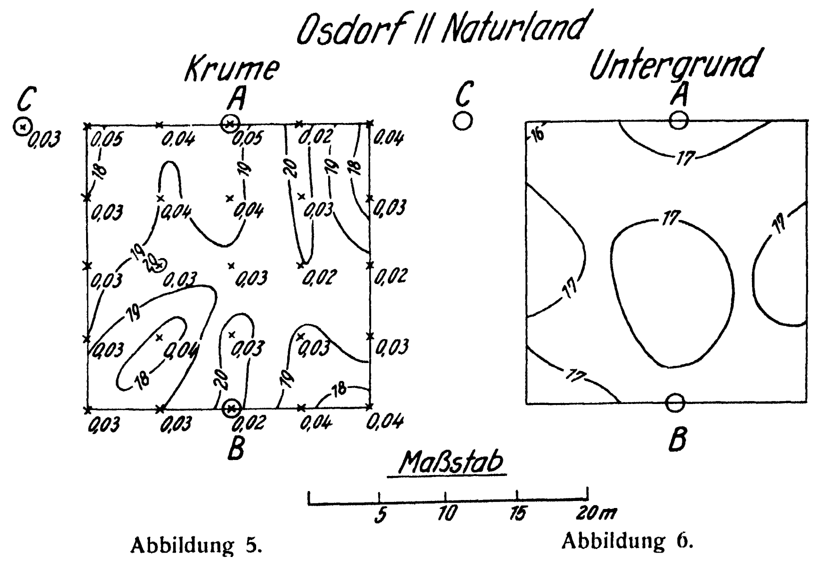


Abbildung 5. Abbildung 6.

Die Kurven sind Verbindungslinien von Stellen gleichen Wassergehaltes; die zugehörigen Zahlen (16—31) bedeuten den Wassergehalt in Volumen-%. An den Stellen mit einem x wurden Proben entnommen und die Durchlüftung gemessen; die Zahlen (0,0 – 0,05) geben die Durchlässigkeitszahlen nach Janert an.

ten Frühjahrsbestellung zu erklären. Der Wassergehalt liegt dabei aber immer noch beträchtlich unter dem des Riesellandes. Es wurde bereits oben auf eine gewisse Abhängigkeit zwischen Porengröße und Wasseranteil hingewiesen, die hier bei einem neuerlichen Vergleich im Naturland ihre Bestätigung findet.

Zu 3. Wassergehaltsschichtlinien.

Die umfangreichen Untersuchungen über die Verteilung der Feuchtigkeit, die eine erhebliche Anzahl von Bodenproben zur Voraussetzung hatten, wurden nur im Herbst durchgeführt. Die Auswahl der Stellen erfolgte bei OIIR in der Absicht, ein sogenanntes Nest, das am kümmernden Pflanzenwuchs deutlich zu erkennen war, mit einem engmaschigen Netz von Entnahmestellen zu überziehen und so Unterschiede im Wassergehalt festzustellen. Bei HoR sollte eine Ecke des Berieselungsteilstückes — der Einflußstelle diagonal entgegengesetzt — genauer auf den Wassergehalt hin untersucht werden. Bei den übrigen Flächen war die Lage des Versuchsvierecks mehr eine willkürliche. Der Abstand der Entnahmestellen, einmal festgelegt, wurde streng innegehalten. Die zu den Schichtlinien gehörenden Zahlen (s. Abb. 3—14) bedeuten den Wassergehalt in Volumen-%.

O II. (Abb. 3—6.)

Rieselland.

Die Mitte des Nestes war Punkt B, um den sich die ubrigen 48 Entnahmestellen im Quadratverband von je 3 m Abstand gruppierten. Es wurden jeweils in Krume und Untergrund
10 Volumenproben und
39 Gewichtsproben
entnommen. Über die Umrechnung der Gewichts-% in Volumen-% s. S. 273.

Krume. Die Mitte hatte mit 31,7% den größten Wassergehalt, der sich nach den Rändern teils schnell — nach C hin — teils langsam — nach A und D hin — verflachte. Hier schwankte der Wassergehalt dann nur noch zwischen 23 und 26%.

Untergrund. Der Krume sehr ähnlich zeigte der Untergrund ebenfalls fallende Tendenz des Wassergehalts von einer Stelle aus, die ungefähr mit der Mitte zusammenfiel. Im ganzen ist ein schwammartiges Ansaugen des Wassers nach B hin festzustellen (hier sind die Poren fast ganz mit Wasser gefüllt). Mit welcher Kraft das Wasser gespeichert wird, folgt aus der Porengrößendarstellung und daraus, daß der Boden diese Feuchtigkeit noch nach mindestens 10tägiger Trockenheit bei erheblichen Temperaturen enthielt.

Naturland.

Die 25 Entnahmestellen waren im 5-m-Quadratverband angeordnet. Unter Außerachtlassung von Punkt C, der außerhalb des Versuchsstückes lag, wurden je in Krume und Untergrund
5 Volumenproben und
20 Gewichtsproben
entnommen.

Im Gegensatz zum Rieselland zeigt sich keine solche Konzentration der Feuchtigkeit zu einem Punkt hin, vielmehr eine gewisse Regellosigkeit und, besonders auffällig im Untergrund, eine ziemliche Gleichmäßigkeit. Hierbei sei auf die Art der Schichtlinienentwicklung hingewiesen, die selbstverständlich der Willkür des

Ausführenden bis zu einem gewissen Grade unterworfen ist, besonders dort, wo sich nur geringe Unterschiede im Wassergehalt benachbarter Stellen ergeben. Es fehlt hier jene eindringliche Ansicht, wie sie aus der Topographie bei der Ausführung von Geländehöhenschichtlinien bekannt ist; in der darstellenden Bodenkunde wäre der Mangel durch eine Verdichtung der Entnahmestellen nur bis zu einem gewissen Grade wettzumachen, der im Erfolg aber in keiner Beziehung mehr zur aufgewendeten Mühe stünde. Die Anzahl der Entnahmestellen mußte erheblich zunehmen und die Wassergehaltsschichtlinien würden doch nur wenig Änderung ihres Verlaufes erfahren. Es soll hier nur auf den Gesamteindruck ankommen, der bezüglich der Feuchtigkeit und deren Verteilung im Boden zu gewinnen ist, wofür aber Zahl und Anordnung der Entnahmestellen als genügend anzusehen sind.

O I. (Abb. 7—10.)

Rieselland.

56 Entnahmestellen im 5-m-Quadratverband,
10 Volumenproben und
46 Gewichtsproben (jeweils in Krume und Untergrund); damit ist nahezu das ganze Teilstück erfaßt.

Wassergehaltsschichtlinien und Luftdurchlässigkeit.

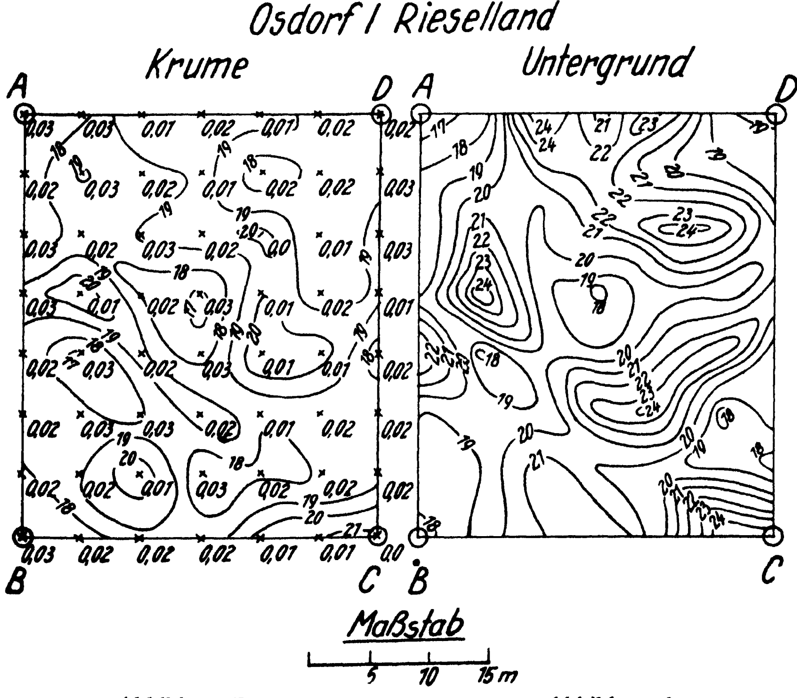


Abbildung 7. Abbildung 8.

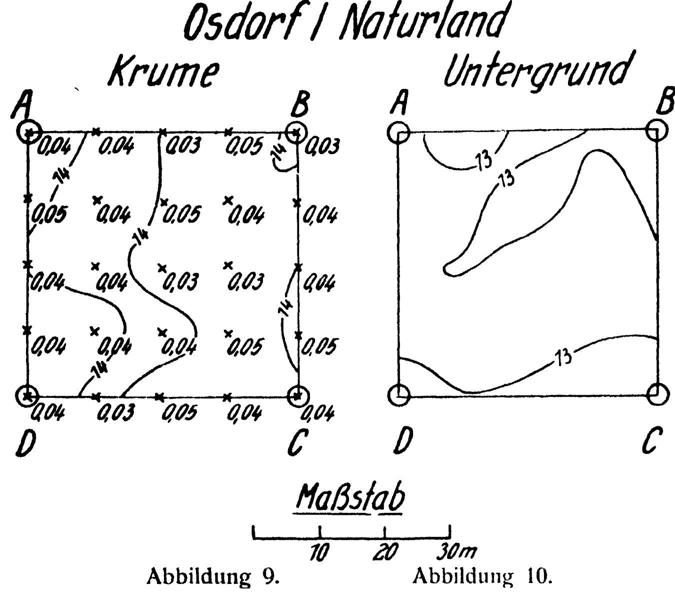


Abbildung 9. Abbildung 10.

Die Kuven sind Verbindungslinien von Stellen gleichen Wassergehaltes; die zugehörigen Zahlen (13—24) bedeuten den Wassergehalt in Volumen-%. An den Stellen mit einem x wurden Proben entnommen und die Durchlüftung gemessen; die Zahlen (0,0 – 0,05) geben die Durchlässigkeitszahlen nach Janert an.

Schon in der Einleitung zu diesem Kapitel wurde auf die großen Schwankungen des Wassergehalts innerhalb eines Teilstückes hingewiesen. Bei O I R findet die Auffassung von Vageler und Alten (39), die vom Boden als einem „starren Mosaik (dem Wassergehalt nach) verschiedenartig zusammengesetzter Stellen“ sprechen, ihre Bestätigung. Denn sowohl in Krume als Untergrund zeigen die Wassergehaltsschichtlinien einen äußerst ungleichförmigen Verlauf und noch stärkeren Feuchtigkeitswechsel, als er schon bei O II R zu erkennen war. Im großen und ganzen ergibt sich auch hier zwischen Krume und Untergrund eine Ähnlichkeit, wenn auch nicht in ganz so auffälligem Maße wie bei O II R.

Naturland.

25 Entnahmestellen im 10-m-Quadratverband,
5 Volumenproben,
20 Gewichtsproben (jeweils in Krume und Untergrund).

Was schon bei O II N gesagt wurde, hat auch hier seine Gültigkeit. Wollte man Riesel- und Naturland einmal so vergleichen, als handle es sich um eine topographische Geländedarstellung, so könnte man geradezu von einem Gegensatz wie Gebirge und Ebene sprechen. Dem Auf und Ab beim Rieselland steht die Gleichmäßigkeit beim Naturland gegenüber.

Ho. (Abb. 11—14.)

Rieselland. Durch die Auswahl der Teilstückenecke sollte gerade hier der Wassergehalt einmal näher untersucht werden, da die Annahme besteht (14), daß die Einschwemmung von Fäkalsuspensa am Rande und besonders in den Ecken einer Rieseltafel besonders groß ist. Dadurch mußte dann aber die Feuchtigkeit ebenfalls beeinflußt werden.

So wurde die der Einflußstelle des Schmutzwassers diagonal entgegengesetzte Ecke zum Gegenstand dieser besonderen Untersuchung gemacht und mit einem Netz von Entnahmestellen im 3- und 6-m-Quadratverband überzogen; entnommen sind
 4 Volumenproben und
12 Gewichtsproben (jeweils in Krume und Untergrund).

Dabei ergibt sich einwandfrei eine Erhöhung des Wassergehalts zur Ecke — bei Punkt B — hin. Sie ist bedingt durch den höheren Anteil organischer Stoffe (s. Glühverlust) und abschlämmbarer Teile, die durch das Abwasser auf das Feld gelangen. Besonders im Vergleich mit dem Naturland, wo es sich um recht grobe Böden handelt, wird sich jede kleine Änderung im Zerteilungsgrad schon deutlich in einer Änderung des Wassergehalts bemerkbar machen. Dazu kommt der Einfluß der Ioneneffekte, die wieder von den Sorptionskomplexen des Bodens ausgehen und für die Verdickung der Wasserfilme, die die Bodenteilchen umgeben, ausschlaggebend sind. So ist der erhöhte Wassergehalt als ein Zusammenwirken von Teilchen bzw. Kräften zu verstehen, die einander bedingen.

Wassergehaltsschichtlinien und Luftdurchlässigkeit.

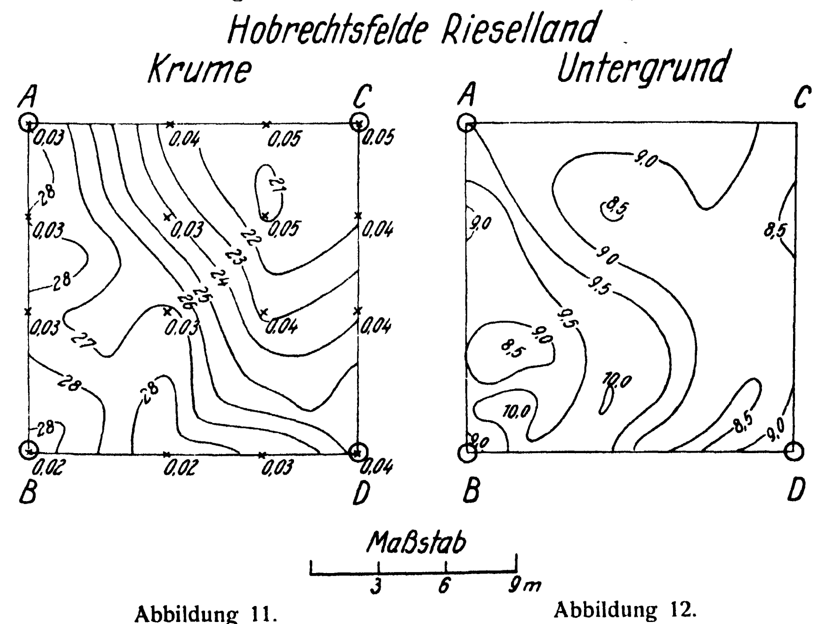


Abbildung 11. Abbildung 12.

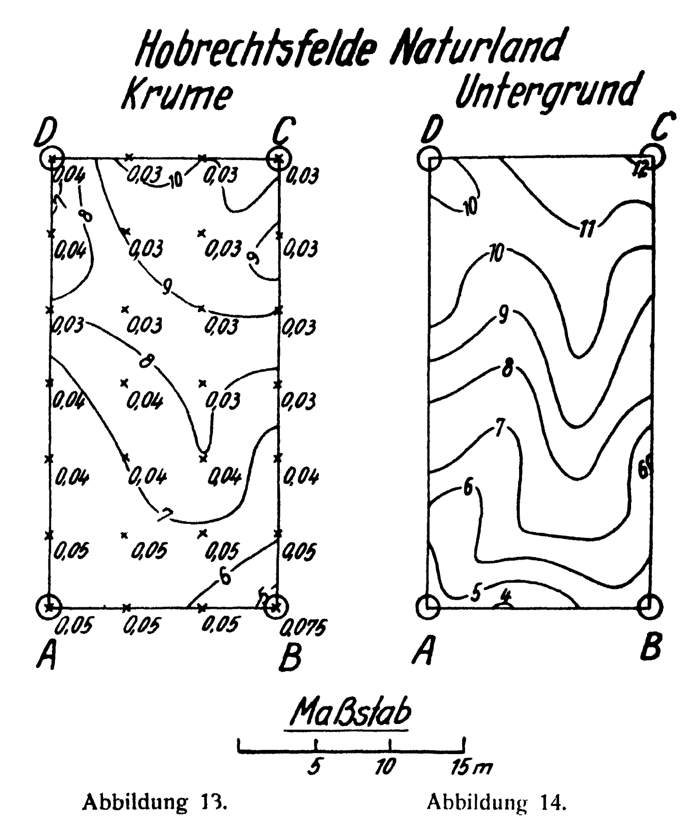


Abbildung 13. Abbildung 14.

Die Kurven sind Verbindungslinien von Stellen gleichen Wassergehaltes; die zugehörigen Zahlen (4—28) bedeuten den Wassergehalt in Volumen-%. An den Stellen mit einem x wurden Proben entnommen und die Durchlüftung gemessen; die Zahlen (0,02—0,075) geben die Durchlässigkeitszahlen nach Janert an.

Die steigende Tendenz des Wassergehalts beginnt in der Krume schon in einigem Abstand von der Teilstückecke, während der Untergrund recht deutlich erst dicht am Rande eine Erhöhung der Feuchtigkeit erkennen läßt. Im ganzen wird also die Annahme bestätigt, daß in den Tafelecken eine größere Feuchtigkeit herrscht. Wenn als deren Träger die Schwebestoffe im Abwasser angenommen werden können, so wäre es mit der Methode der Überstauung leicht zu erklären. Bei der Filtration kommen diese Schwebestoffe am Teilstückrande zuerst zur Ruhe und gelangen auch wohl durch die Treibwirkung des Windes aus der Feldmitte in größerer Menge dorthin.

Naturland.

28 Entnahmestellen im 5-m-Quadratverband,
8 Volumenproben,
20 Gewichtsproben (jeweils in Krume und Untergrund).

Es fällt besonders der geringe Wassergehalt in der Krume auf,

zumal die Entnahme 24 Stunden nach einem starken Regen erfolgte; er beträgt noch nicht die Hälfte von dem des Riesellandes (vgl. auch Abb. 2). Was die räumliche Verteilung des Wassers anbelangt, so ist auf die Gleichmäßigkeit hinzuweisen, die in dem Verlauf der Schichtlinien sowohl in der Krume als im Untergrund deutlich zum Ausdruck kommt; diese verlaufen in gehörigem Abstand voneinander, wobei kaum eine Zusammendrängung sichtbar wird.

4. Durchlüftung.

Die Durchlässigkeit des Bodens für Luft ist abhängig von Porenraum, Lagerung und Wassergehalt (42). Daraus ergeben sich eine Fülle von Beziehungen, die schwer auf einen Generalnenner zu bringen sind. Jedenfalls kann der Luftgehalt nicht nur von dem absoluten Porenraum des Bodens abhängen, was aus der Gruppeneinteilung der Porengrößen schon zu erkennen war und worauf auch dort bereits hingewiesen wurde. Es muß vielmehr zumindest die Teilung in kleine und große Poren vorgenommen werden, wobei diese die Aufgabe der Luftspeicher, jene mehr die der Wasserspeicher haben (43). Schon diese Zweiteilung läßt aber die neue Frage zu, wo die Grenze anzunehmen ist, eine Frage, die Sekera (35) dahin beantwortet, daß sie bei einem Hohlraumäquivalentdurchmesser von 0,2 mm liege. Weiter kann eine Einengung des Porenraumes den nutzbaren Luftraum etwa durch Schwarmhüllenverdickung herabsetzen -- wie bei O II R. Eine Änderung im Feuchtigkeitsgehalt bedingt Schwindung oder Quellung, damit Verengung oder Erweiterung der Poren, so daß die Durchlüftung auch einem steten Wechsel unterworfen ist, wobei nicht einmal gesagt werden kann, wieviel Luft an Stelle des abgegebenen Wassers in den Boden eindringt (31). Damit sind nur einige der Abhängigkeitsfaktoren herausgestellt.

Die Luft, der die Aufgabe zufällt, das Bodenwasser in einem gesunden Zustand zu erhalten (23), hat auf dem Rieselland eine bevorzugte Bedeutung. Von ihrer Menge und Beweglichkeit hängt der hier besonders rege Gasaustausch weitgehend ab.

Um nun einen Einblick in die Bodendurchlässigkeit für Luft bei den Versuchs-Teilstücken zu gewinnen, wurden Untersuchungen auf dem Felde mit dem Durchlüftungsmesser von Janert (44) ausgeführt. Da mit Ausnahme des Sitzungsberichtes — in dem auch eine schematische Darstellung des Instrumentes abgebildet ist — wohl noch keine weiteren Veröffentlichungen über den Apparat vorliegen, sei der Messungsvorgang kurz beschrieben.

Der Apparat wird auf den Boden aufgesetzt und bis zu einer bestimmten Marke, evtl. mit Hilfe von leichten Drehbewegungen, eingedrückt. Dabei ist darauf zu achten, daß die Einführungsrichtung immer senkrecht ist, sonst entstehen Lockerungen am Rande, die zu falschen Resultaten führen, weil sie den Boden durchlässiger erscheinen lassen, als er in Wirklichkeit ist. Mit einem Gummiball wird alsdann Luft in das Instrument gepumpt. Der sich in ihm entwickelnde Druck wird in zwei Teile zerlegt, die gesondert an zwei Spannungsmessern abgelesen werden können. Der eine gibt den tatsächlich herrschenden Druck in dem Apparat an. Der andere zeigt einen um so viel geringeren Druck, wie Luft durch den Boden entweichen kann. Beide Ablesungen sind Eingangswerte (Ordinate und Abszisse) für ein Diagramm, aus dessen Kurvenschar die Durchlässigkeitszahl zu entnehmen ist.

Die Durchlässigkeitszahl ist der Ausdruck für eine Blendenöffnung, die der Querschnittssumme der im Boden enthaltenen Luftkanäle gleichgesetzt wird.

Die Ergebnisse der Messungen, die nur im Herbst vorgenommen wurden, sind in den Lageplänen der Wassergehaltsschichtlinien (Abb. 3—14) als Zahlen neben den Kreuzen eingetragen. Immer an den Stellen der Krume, an denen Proben entnommen wurden, wurde auch die Luftdurchlassigkeit gemessen.

Die Betrachtung der gewonnenen Vergleichszahlen soll nicht einzeln an jedem Versuchsstück erläutert, sondern vielmehr summarisch zusammengefaßt werden. Dann ergibt sich zunächst einmal, daß durchweg mit steigendem Wassergehalt — aus den Schichtlinien abzulesen — die Luftdurchlassigkeitszahl sinkt [vgl. Abb. 3 (O II R): Minimum der Durchlässigkeit um B herum, Zunahme nach den Rändern, oder Abb. 11 (Ho R): Ansteigen der Durchlässigkeit von B nach C hin]. Für das einzelne Teilstuck entspricht also einem bestimmten Wassergehalt naherungsweise auch eine bestimmte Durchlüftung. Dabei sollen immer nur die zusammengehörenden Riesel- und Naturlandteilstucke miteinander verglichen werden; denn gehört bei O II N zu einem Wassergehalt von 18% eine Durchlüftungszahl von 0,04 (vgl. Abb. 5), so entspricht dieselbe Durchlüftungszahl bei Ho N einem Wassergehalt von nur 7% (vgl. Abb. 13). Das scheint uns aber ein wichtiges Ergebnis zu sein, daß in dem ermittelten Wert auch zugleich noch andere die Durchlüftung bedingende Faktoren miterfaßt werden. Genau wie ein Wassergehalt von 7% im Hobrechtsfelder Boden etwas anderes bedeutet als im O II-Boden, weil er ebenfalls nicht nur von einem Faktor abhängig ist, so ist eine Durchlassigkeitszahl von 0,03 im Ho-Boden anders zu bewerten als im O II-Boden. Die in folgender Übersicht zusammengestellten Mittel aus den gemessenen Werten je Teilstück sind darum am besten reihenweise (z. B. O II R mit O II N), dagegen spaltenweise (z. B. O II R mit Ho R) nur bedingt miteinander zu vergleichen.

	R	N
O II	0,016 ± 0,008	0,033 ± 0,007
O I	0,020 ± 0,006	0,037 ± 0,007
Ho	0,036 ± 0,008	0,040 ± 0,008

Es soll nicht auf die Genauigkeit der letzten Stellen dieser Zahlen ankommen, schon weil jede Durchschnittsbildung eine gewisse Willkür in sich schließt und die Genauigkeit der Zahl in Auswertungen nicht übertrieben hoch angenommen werden darf.

Nach der Übersicht ergibt sich allgemein eine Abnahme der Durchlüftung in den Rieselböden, die sich in Osdorf am stärksten auswirkt. Hier sinken die Durchlässigkeitszahlen auf die Hälfte jener der Naturlandböden. In Hobrechtsfelde ist der Unterschied zwischen Riesel- und Naturland dagegen gering, weil bei beiden verhältnismäßig grobkörniges Bodenmaterial vorliegt, das genügend weite Teilchenzwischenräume gewährleistet. Die mittleren Schwankungen sind mit Ausnahme von O II R als gering anzunehmen. Hier aber dürfte ihr erhöhter Betrag (± 0,008 bedeuten 50%

des Mittels!) darauf zurückzuführen sein, daß es sich um eine zu unterschiedliche Versuchsfläche handelte, die hauptsächlich eine Wassergehaltsspitze bei B erläutern sollte, so daß sich die Mittelbildung ungünstig auf die Durchlüftung auswirkte. Um für dieses Teilstück einen durchschnittlichen Durchlüftungswert zu erhalten, hätte die Untersuchung mengenmäßig und auch auf einen größeren Raum verteilt werden müssen.

Wenn wir diese Ergebnisse mit den Porengrößen vergleichen, so ergibt sich näherungsweise Proportionalität zu der Porengruppe I, die für die Luftbewegung, wie mit Sicherheit anzunehmen ist, ausschaltet. Je größer der Anteil der Gruppe I, um so geringer ist die Luftdurchlässigkeit. Ferner ist auch eine Abhangigkeit von der Lagerungsdichte in der graphischen Darstellung Boden — Luft — Wasser (Abb. 2.) abzulesen; je größer nämlich der Bodenanteil ist, um so mehr sinkt die Durchlüftung. Es bestätigt sich also, was im Anfang dieses Kapitels über die Abhängigkeit der Bodendurchlassigkeit für Luft gesagt wurde; sie ergibt sich aus dem Zusammenwirken von mehreren Faktoren, die unter sich wieder in Wechselwirkung stehen.

5. Benetzbarkeit.

Jeder Wasseraufnahme und -speicherung eines Bodens geht die Benetzung der einzelnen Bodenpartikel voraus. Ganz gleichgültig, in welcher Richtung sich das Wasser bewegt, es wird immer dem osmotischen Druckgefälle folgen. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß der Boden oder richtiger gesagt, seine Teilchen eine gewisse Bereitschaft zeigen müssen, das Wasser aufzunehmen. Sie ist die Voraussetzung für die Wanderung und damit Verbreitung des Wassers an den Teilchenoberflachen entlang (32). Dem Boden wohnt also eine mehr oder minder große Energie inne, das Wasser aufzunehmen. Es ist bisher vielfach nach den Ursachen geforscht worden, die die Schwerbenetzbarkeit eines Bodens herbeiführen könnten (45). Dabei wurde sowohl Fett- oder Ölüberzügen als auch Lufthüllen der Bodenteilchen die Schuld an diesem Verhalten beigelegt. Es sollen hier die Widerstände nicht näher untersucht werden, die sich der Anfeuchtung des Bodens entgegenstellen. Nur soviel kann nach den Ergebnissen, die eine größere Bereitschaft des Rieselbodens zeitigen, vorweggenommen werden, daß Fett-, Harz- oder Ölüberzüge für die Widerstande nicht in Frage kommen. Denn es dürfte ohne weiteres einleuchten, daß mit dem Abwasser viele solche Stoffe eingeschlämmt werden und sich auf der Oberfläche der Bodenteilchen absetzen. Wenn sie nun die Schwerbenetzbarkeit bedingen, müßte gerade der Rieselboden der Wasseraufnahme größere Widerstände entgegensetzen als der Naturlandboden. Das ist aber nicht der Fall, sondern trifft eher für den Naturboden zu.

Für die vorliegende Arbeit kam es darauf an, einen zahlenmäßigen Ausdruck für die Benetzbarkeit überhaupt zu finden. Die Kraft, das Wasser anzuziehen, dürfte mit der Hydratation zu erklären sein; von ihr geht die Bildung des Schwarmwassers aus, das hüllenförmig die Bodenkörner umgibt. Je stärker hydratisiert die Schwarmionen der Sorptionskomplexe sind, um so dicker wird der Wasserfilm sein. Mit welchen at-Werten bei der Hüllenbildung zu rechnen ist, kann sehr gut nach Vageler aus der schematischen Darstellung bei Laatsch (18) ersehen werden. Von diesen Kräften werden sowohl die Menge des gebundenen Wassers als die

Geschwindigkeit der Bindung abhängen. Um also über die Benetzbarkeit eines Bodens etwas auszusagen, gilt es, diese beiden Faktoren zu bestimmen.

Bei den Feldarbeiten während der Probeentnahme war es in Hobrechtsfelde aufgefallen, daß Riesel- und Naturland sich dem Eindringen des



Abbildung 15.
Zwei Stechzylinder mit Hobrechtsfelder Boden im Wasser. Links Rieselland bereits vollständig gesättigt; rechts Naturland, obenauf noch vollkommen trocken.

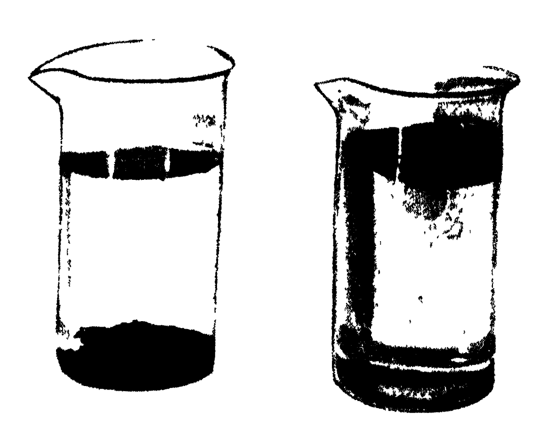


Abbildung 16.
Hobrechtsfelder Riesellandboden sinkt sofort im Wasser unter (links); Hobrechtsfelder Naturlandboden schwimmt noch etwa 20 Minuten auf der Oberfläche (rechts).

Wassers gegenüber ganz verschieden verhielten. Bei dem Naturlandboden blieben Wassertropfen obenauf liegen und versickerten erst nach geraumer Zeit; der Rieselboden dagegen sog das Wasser mit ziemlicher Kraft ein.

Im Laboratorium ergaben sich dann die gleichen Erscheinungen. Als der Boden im Stechzylinder bei der Porengrößenbestimmung für den Versuch vorbereitet werden sollte, zeigte sich, wie schwer es war, den Naturlandboden von unten her zu sättigen. In Abbildung 15 sind zwei Stechzylinder dargestellt, von denen der linke Rieselboden, der rechte Naturlandboden enthält. Beide Zylinder sind unten mit leichtdurchlässiger Leinwand abgeschlossen und stehen fast bis zum oberen Rande im Wasser. Während der Rieselboden schnell durch seinen feuchten Glanz die erfolgte Wasseraufnahme anzeigte, stellte sich dieser Zustand bei dem Naturlandboden erst nach erheblich längerer Zeit (etwa nach einer Stunde) und auch dann nur stellenweise an der Oberfläche ein. Die Bodenteilchen nahmen also nur schwer die Feuchtigkeit an und setzten scheinbar mit der in den Porenräumen vorhandenen Luft dem aufsteigenden Wasser größten Widerstand entgegen.

Auf dasselbe Verhalten des Benetzungswiderstandes ist das Schwimmen und Untersinken des Bodens im Wasser zurückzuführen. Deutlich sind auch hier in Abbildung 16 die Unterschiede zu erkennen. In zwei mit Wasser gefüllte Bechergläser von demselben Durchmesser wurden annähernd gleiche Mengen von lufttrockenem Riesel- und Naturlandboden getan. Während der Rieselboden ziemlich schnell untersank, nachdem sich die Bodenteilchen mit Wasser benetzt hatten, schwamm der Naturlandboden noch lange (ungefähr 20 Minuten) auf der Oberfläche.

Um einen Einblick in Wassermenge und Zeit, in der das Wasser aufgenommen wird, zu erhalten, wurde ein Apparat zusammengestellt, der in seinen Grundgedanken auf W. Spring- und O. Schmidt (46) zurückgeht.

Er besteht (s. untenstehende Abb. 17) aus einer Filternutsche (F) (Kennziffer 17 G 2 von Schott u. Gen., Jena) zur Aufnahme des Bodens, einem

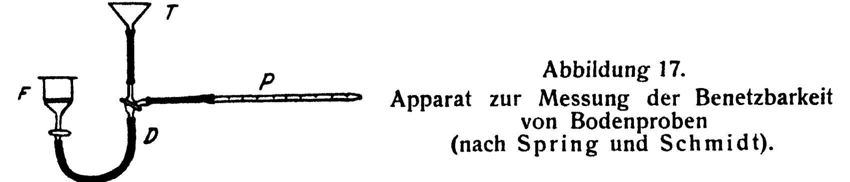


Abbildung 17.
Apparat zur Messung der Benetzbarkeit von Bodenproben (nach Spring und Schmidt).

Dreiwegehahn (D), einem Trichter (T) als Wasserbehälter und dem eigentlichen Meßinstrument, einer 2-ccm-Meßpipette mit 0,02-ccm-Teilung (P). Pipette und Oberkante der Filterplatte liegen in einer Ebene.

Nachdem Nutsche und Pipette ganz mit Wasser gefüllt waren, wurde der lufttrockene Boden sorgfältig auf dem Filter verteilt, so daß die einzelnen Bodenkörner möglichst wenig übereinander lagen; denn es kam nicht auf die Füllung der Zwischenräume, sondern auf die Wasserhüllen der Partikel an. Es wurde nur die Feinerde verwandt aus der Erkenntnis heraus, daß die Bodenteilchen $>$ 2 mm keinen wesentlichen Einfluß auf die Benetzung haben, weil sie keine Schwarmionen besitzen (18). Die Filternutsche war mit der Atmosphäre nur durch eine Kapillare im abschließenden Deckel verbunden, um eine Verdunstung zu vermeiden. Die eingefüllte Menge Boden betrug 1—5 g in lufttrockenem Zustand. Bei der Messung wurde in bestimmten Zeitabschnitten die angesaugte Wassermenge an der Pipettenteilung abgelesen, und zwar solange, bis der Meniskus zum Stillstand gekommen war, die Bodenprobe also die maximale Wassermenge aufgenommen hatte.

Die Ergebnisse werden in Zeitkurven (Abb. 18) für die drei Hobrechtsfelder Krumen, und zwar für 2 und 3 g Boden, dargestellt.

Für die Darstellung der Zeitkurven kamen die Osdorfer Böden nicht in Frage, da eine Messung der Zeit nicht möglich war. Die Feinerde sog das Wasser dermaßen schnell an, daß mit der Beendigung des Einfüllens in die Filternutsche auch die Wasseraufnahme beendet war. So waren auch keine Unterschiede zwischen Riesel- und Naturland zu erkennen. Dasselbe ist auch vom Hobrechtsfelder Untergrund zu sagen.

Bei den Krumen der Hobrechtsfelder Teilstücke waren dagegen deutlich Unterschiede zu erkennen. Aus den Kurven fur die

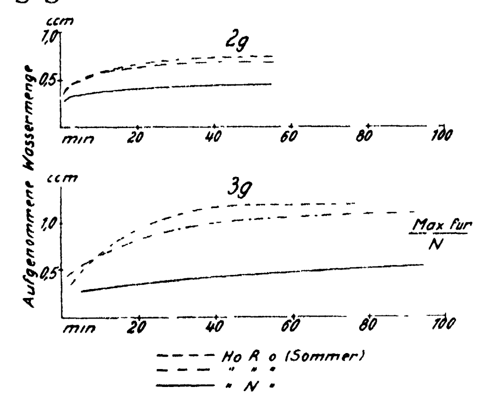


Abb. 18.
Zeitkurven für die Aufnahme von Wasser durch eine bestimmte Bodenmenge (2 und 3 g) bis zur Sättigung.

Bodenmengen 1—5 g wurden deshalb die für 2 und 3 g ausgewählt und in Abb. 18 dargestellt. Die Werte, nach denen die Kurven aufgetragen wurden, sind durch Parallelbestimmungen gesichert.

Der Naturlandboden zeigt in dem geringen Steigungswinkel seiner Kurve die Trägheit in der Wasseraufnahme, die erst nach erheblich längerer Zeit zur vollen Sättigung fuhrt als bei den Rieselböden. Diese weisen einen steilen Anstieg in der graphischen Darstellung auf, besonders ausgeprägt bei der 3-g-Kurve. Hier hat z. B. HoRo (Sommer) nach etwa 50 Minuten sein Maximum bereits erreicht, wenn der Naturlandboden erst mit der Hälfte der möglich aufnehmbaren Wassermenge benetzt ist. Die in gleichen Zeiten aufgenommenen Wassermengen verhalten sich in diesem Falle wie 3 : 1.

6. Benetzungswärme.

Neben anderen Faktoren hat die Bodenoberfläche einen erheblichen Einfluß auf die zurückgehaltene Wassermenge. Sie hat zwar auch schon in der Benetzbarkeit einen gewissen Ausdruck gefunden, aber erst die Ermittlung der Benetzungswärme führt zu genauen miteinander vergleichbaren Werten. Bei der Benetzbarkeit wurde die Schichthüllenstärke des Schwarmwassers miterfaßt, also letztlich ein Rauminhalt ermittelt, während mit der Benetzungswärme eine Fläche, die Gesamtoberfläche des Hohlraumvolumens, indirekt bestimmt wird. Die Benetzungswärme hat als wertvolle Ergänzung zur mechanischen Bodenanalyse zu gelten, besonders auch dann, wenn die Wirkungen, die von der Gesamtbodenober-

fläche ausgehen, erfaßt werden sollen. Als solche sind aber z. B. die Vorbedingungen für den Wassergehalt der Böden anzusehen, der bereits untersucht worden ist. Er wird sowohl von den Ioneneffekten als auch von der Oberfläche abhängen und wachsen, schon wenn eine der Komponenten sich vergrößert.

Die Benetzungswärme wurde für alle Böden in Krume und Untergrund mit Hilfe des Kalorimeters bestimmt, und zwar nach der Mischmethode von Janert (37).

Ungefähr 20 g Feinerde (< 1 mm) wurden in Wägegläschen im Trockenschrank bei 110° getrocknet, nach Abkühlung im Exsikkator gewogen und die Deckel sorgfältig mit erhitztem Paraffin abgedichtet. Dann wurde aus einer Bürette das Kalorimeter mit so viel destilliertem Wasser beschickt, daß Wasser + später hinzugesetzte Bodenmenge = 100 ccm betrugen. In das so vorbereitete Kalorimeter wurde das Wägegläschen mit dem Boden eingesetzt und Temperaturausgleich abgewartet. Die Schwankungen waren um so geringer und die Resultate fielen um so exakter aus, je gleichmäßiger die Temperatur des Raumes war, in dem die Messungen ausgeführt wurden. Bei gleichbleibendem Stand des Thermometers wurde die Anfangstemperatur (t_1) abgelesen, das Wägegläschen herausgehoben und sein Inhalt restlos in das Kalorimeter entleert. Danach wurden mit Hilfe des Rührlöffels Wasser und Boden gleichmäßig miteinander vermischt und am Thermometer der höchste Stand der Quecksilbersäule (t_2) abgelesen. Die Benetzungswärme errechnete sich dann nach der Formel

$$\text{Benetzungswärme i. kal/g} = \frac{(0{,}2\ B + K + W)\ (t_2 - t_1) - 2{,}5}{B}$$

Es bedeuten dabei
0,2 = spezifische Bodenwärme,
B = Bodengewicht in g,
K = Wasserwert des Kalorimeters (= 9,5),
W = angewandte Wassermenge in ccm,
2,5 = Kalorien durch Rührbewegung erzeugt.

Tabelle 6.
Ergebnisse aus den Messungen der Benetzungswärme.

Teilstück			Mittel
O II Ro	1,6143	1,6226	1,6184
Ru	1,2710	1,2296	1,2503
No (Sommer)	0,8561	0,8589	0,8575
Nu (Sommer)	0,4001	0,3696	0,3848
No	0,5831	0,5683	0,5757
Nu	0,2149	0,2360	0,2254
O I Ro	0,7451	0,7386	0,7418
Ru	0,3832	0,3912	0,3872
No	0,5487	0,5537	0,5512
Nu	0,2748	0,2753	0,2750
Ho Ro	1,7235	1,6804	1,7020
Ru	0,2682	0,2666	0,2674
Ro (Sommer)	1,0525	1,0991	1,0758
Ru (Sommer)	0,2342	0,2235	0,2288
No	0,6799	0,6402	0,6600
Nu	0,1392	0,1135	0,1264

Die gewonnenen Ergebnisse der Parallelmessungen und deren Mittelbildungen sind in Tabelle 6 zusammengefaßt worden. Sie ergeben eindeutig eine erhebliche Erhöhung — in Krume und

Untergrund — der Benetzungswärme des Riesellandes gegenüber dem Naturland. Besonders auffällig sind die Unterschiede bei O II; sie machen in der Krume etwa den 3fachen, im Untergrund etwa den 5fachen Betrag der Benetzungswärme des Naturbodens aus.

Janert (37) teilt die Bodenarten auf Grund der Benetzungswärme nach folgendem Schema ein:

Bodenart	Benetzungswärme
Sandboden	0—1 cal/g
Sandiger Lehm und lehmiger Sand	1—2 cal/g
usw.	

Auch unsere Ergebnisse reihen sich hier mit Ausnahme des Hobrechtsfelder Sondbodens ein, der dadurch etwas zu hoch bewertet wird. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß es sich nur um den Rieselboden handelt; dieser enthält aber sicherlich eine größere Menge an Salzen, die die Benetzungswärme beeinflussen. So dürfte ihr verhältnismäßig hoher Wert, dessen Ermittlung bei diesem humosen Boden besondere Schwierigkeiten machte, darin seine Erklärung finden. Es zeigt sich also bereits ein Unterschied gegenüber der recht rohen Klassifikation aus der mechanischen Bodenanalyse, der nur die Größenordnung der Bodenteilchen zugrunde liegt. Er tritt z. B. bei O II R hervor, einem Boden, der jetzt in die Gruppe der lehmigen Sande einzureihen wäre, während dort alle untersuchten Böden als Sandböden anzusprechen waren. Rein gefühlsmäßig und dann auch nach den Porengrößen geurteilt, nahm O II R aber eine besondere Stellung ein, die nun bei der Klassifikation nach der Benetzungswärme ihre Bestätigung findet.

7. Krümelgrößen.

Die belebende Kraft des Vegetationsfaktors Wasser beruht nicht allein in der Benetzung der Bodenteilchen, sondern auch in der Formung des Bodengefüges; wird doch mit Hilfe der Oberflächenspannung — als Kraft aus dem Wasser — und durch Bodenkolloide — als Kraft aus dem Boden — jene wichtige Umwandlung vom Einzelkorn- zum Krümelgefüge vollzogen, nach der von jeher die Bodenkultur strebt. Das Ziel, das freilich immer in Idealform bestehen wird, wird die Erhaltung der Bodenstruktur, kurz ihre Stabilität sein.

Als wünschenswerter Zustand des Bodens werden optimale Krümelgrößen

2 —4 mm (18)
0,5—5 mm (43)
1 —3 mm (47)

angesehen.

Abgesehen von den unterschiedlichen Grenzen kommt doch im ganzen das Bestreben zum Ausdruck, die Zusammenballungen mittlerer Größenordnung als besonders wertvoll herauszunehmen. In der Vielfalt solcher Krümel ist das günstigste Moment der Wasserspeicherung und Luftbeweglichkeit zu sehen. In ihrem Vorhandensein liegt die Lockerheit des Bodens begründet, denn nur so besitzt er große und kleine Poren in genügender Zahl.

Was nun die Stabilität anbetrifft, so dürfte es leicht erklärlich sein, daß sie kaum auf dem Rieselland erhalten bleibt, vorausgesetzt, daß hier überhaupt eine Krümelstruktur vorliegt. Wird sonst schon der Regen einen erheblichen Einfluß auf die Krümel ausüben, um wieviel mehr das Abwasser, das in ganz anderen Mengen den Boden bedeckt und bei der Filtration die Aggregate zerstören muß. Dabei werden dann die Tonteilchen, die für den Aufbau der Krümel aber als Bindemittel dienen, z. T. mit fortgespült (vgl. Korngrößen). Ferner trägt der allgemein erhöhte Wassergehalt nicht dazu bei, den Boden in Krümelstruktur zu überführen. Es wurde bereits gezeigt, daß eine Wasserhüllenverdickung eingetreten sein mußte, die dem Boden einen großen Teil seiner Kohäsionsfähigkeit nimmt, weil die Mineralteilchen sich nicht mehr direkt beruhren. Diese sind bei Bodenfeuchtigkeit vielmehr erheblich leichter gegeneinander verschiebbar. So kann also mit Laatsch (18) gesagt werden, daß das Na-Ion, auf das letzten Endes ein solcher Zustand zuruckzuführen ist, der ärgste Feind der Krumelstruktur ist.

Besondere Beachtung verdiente dann noch das unterschiedliche Verhalten des Bodens in trockenem und feuchtem Zustand dem Wasser gegenüber.

Bezüglich des naturfeuchten Zustandes waren gelegentlich der Probenahme in Osdorf bereits Unterschiede zwischen Riesel- und Naturland zu erkennen. Wurde der Boden namlich aus einer Gießkanne kräftig mit Wasser übersprengt, so zeigte der Rieselboden nach der Versickerung kein anderes Aussehen als vor der Benetzung — Schollen- und Brockenformen waren noch gut zu erkennen —, während der Naturlandboden nach dem Übergießen seine vorher gezeigte Form verloren hatte und breiartig zerlaufen war.

Im Laboratorium wurden diese Versuche mit Boden von O II Ru und O II Nu wiederholt und auch auf dessen lufttrockenen Zustand ausgedehnt bei folgender Anordnung: In 4 Bechergläser wurden Bodenkrümel gelegt, die ohne Umformung dem natürlichen Verbande entnommen waren (vgl. Abb. 19). Die beiden ersten (von links nach rechts zahlend) enthielten Rieselboden, die beiden letzten Naturlandboden, das 1. und 3. Krümel mit natürlicher Feuchtigkeit, das 2. und 4. Krümel in lufttrockenem Zustande. Darauf wurde in die Bechergläser Wasser gefüllt unter möglichster Vorsicht, daß nicht etwa die Krümel dem Wasserstrahl direkt ausgesetzt waren (vgl. Abb. 20). Es ergab sich nun dasselbe Bild, daß draußen im Felde schon grob zu erkennen war. Der feuchte Rieselboden (1. Glas) behielt seine Form, während der feuchte Naturlandboden (3. Glas) die Struktur verlor und in Einzelkorngefüge zerfiel. Noch ein anderes ergab sich aber, was draußen nicht zu sehen war. Die lufttrockenen Riesel- und Naturlandkrümel zerfielen vollkommen, O II N unter reichlicher Trübung des Wassers. Mit Ausnahme von O II R (feucht) verhielten sich also alle Proben dem Wasser gegenüber ganz gleichartig, sie verloren ihre Form; O II R (feucht) dagegen wurde durch eine erhöhte Viskosität, die wieder durch den Na-Gehalt im Boden bedingt ist, so fest zusammengehalten, daß keine Formveränderung eintrat. Bei den anderen Proben dürfte aber in dem erheblichen Druck, der bei dem Vollsaugen auftritt, der Grund für den Zerfall liegen, der mit Zerplatzen bezeichnet werden könnte. Beim Naturland trat diese Formveränderung recht schnell ein, was auf die größere Porenweite zurückzuführen sein dürfte, die dem eindringenden Wasser weniger Widerstand entgegensetzt. Beim Rieselland war eine gewisse Verzögerung festzustellen, die sowohl in der Porenfeinheit liegt als auch in der Lösung der Salze, die der Boden enthält. Mitscherlich (23) hat darauf hingewiesen, daß bei Wasserzufuhr die Kohärenz der Bodenteilchen verringert wird, weil sich die zwischen ihnen abgelagerten Salzteilchen auflösen.

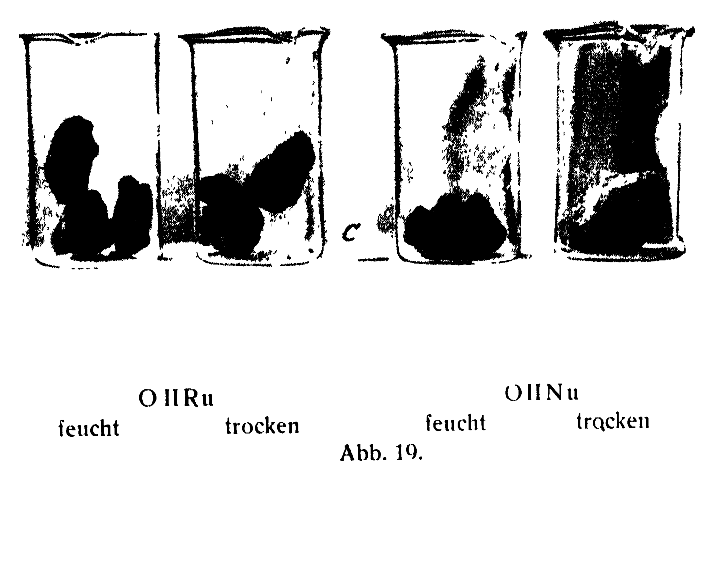


Abb. 19.

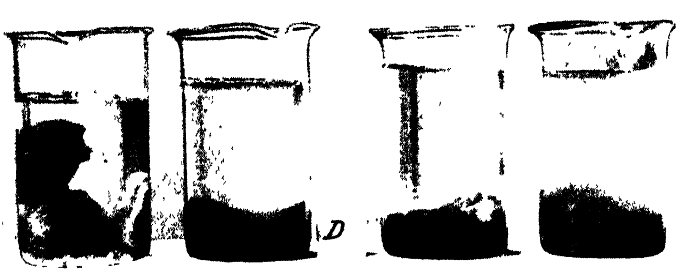


Abb. 20.

Abb. 19 und 20. Zusammenhalt und Zerfall von Bodenkrümeln aus Osdorf nach Begießen mit Wasser.

Mit diesem Laboratoriumsversuch war zwar eine Bestätigung über das Verhalten der Bodenaggregate allgemein erbracht, aber über das Ausmaß des Bodenzerfalls damit noch nichts näheres ausgesagt. Der Boden konnte sich nach dem Zerfall aus einzelnen Bodenkörnern oder auch aus kleineren Zusammenballungen zusammensetzen, Unterschiede, die jedenfalls in den Bechergläsern nicht zu erkennen waren. Ferner ist zu beachten, daß die Auswahl der recht großen Bodenkrümel zur deutlichen Demonstration im Bilde dienen sollte, der Boden aber in Wirklichkeit nicht nur aus

solchen umfangreichen Partikeln bestand. Diese Vorbedingungen waren also richtig zu stellen und die Ergebnisse zahlenmäßig zu erfassen.

Solche Überlegungen führten dazu, die Osdorfer Böden einer Krümelanalyse zu unterziehen. Die Hobrechtsfelder Böden schieden von vornherein aus, da bei ihnen nicht gut von Krümelung zu sprechen war. Als Methode wurde jene nach Meyer-Rennenkampff (47) gewählt, ohne sie bis ins letzte auszuwerten. Es kam vielmehr darauf an, einen Anhalt fur den Zerfall des Bodens im Wasser und damit einen Vergleich für sein Verhalten gegenuber der Abwasserüberstauung oder dem atmospharischen Niederschlag zu bekommen.

Bevor auf den Arbeitsgang eingegangen wird, sei kurz die Apparatur beschrieben (vgl. sonst die Originalarbeit): sie besteht im wesentlichen aus einem Siebsatz mit den Lochweiten 4, 3, 2, 1 $^{1}/_{2}$ und $^{1}/_{1}$ mm. Die Siebe sind durch Gummiringe fugendicht miteinander verbunden und auf einen trichterförmigen Glaszylinder aufgesetzt. Durch ihn erfolgt von unten her Wasserzufluß und -abfluß. Der Abfluß geschieht mit Hilfe einer Hebervorrichtung bei gleichbleibendem Zufluß selbsttätig, wenn das Wasser bis zum Rande des obersten Siebes gestiegen ist. Um den Zufluß möglichst gleichmäßig zu gestalten und ihn nicht den möglichen Schwankungen im Druck einer Wasserleitung auszusetzen, wurde der Apparat an den Wasserbehälter eines Kopeckyschen Schlämmapparates angeschlossen.

Die Ausführung des Siebsatzes hatte durch Prof. Kuron, Berlin eine Verbesserung gegenüber der Anordnung nach Meyer-Rennenkampff erfahren, die den Apparat handlicher und vor allem weniger zerbrechlich macht. Das Zusammensetzen und Auseinandernehmen nach jeder Analyse gestaltet sich dadurch bequemer und durfte erheblich schneller vor sich gehen. Wir sind Herrn Prof. Kuron zu besonderem Dank verpflichtet, daß wir für die Anfertigung unseres Apparates diese Verbesserung verwenden durften.

Zum Arbeitsgang ist unter Hinweis auf die Originalarbeit noch folgendes zu sagen: Nachdem der Apparat ganz mit Wasser gefüllt war, wurde der Zuflußhahn geschlossen und das oberste Sieb mit der zu untersuchenden Bodenmenge beschickt; nach einigen Minuten wurde dann der Zuflußhahn geöffnet und die Spülungen in Gang gesetzt, die genau 26 Minuten dauerten, wobei Zu- und Abfluß so eingestellt waren, daß sich der Siebsatz in dieser Zeit 40mal füllte und leerte. Dann wurde der Zufluß unterbrochen, der Siebsatz auseinandergenommen und die Rückstände lufttrocken gemacht. Zur Beschleunigung der Arbeitsweise empfiehlt es sich, eine Trocknung im Trockenschrank zwischenzuschalten. Trotzdem nur ein Siebsatz zur Verfügung stand, konnten so täglich bis zu 5 Spulungen ausgeführt werden. Verwandt wurden 10—15 g Boden aus der Krume und dem Untergrund der 4 Osdorfer Teilstücke OII und OI. Die Analysen — jeweils in Parallelversuchen — wurden am Boden in natürlicher Feuchtigkeit und in lufttrockenem Zustand ausgeführt. Jener wurde zur Auswertung des %-gehaltes der einzelnen Krümelgrößen auf Lufttrockensubstanz umgerechnet. Daneben mußte dann noch eine sogenannte Einzelkornanalyse ausgeführt werden. Dazu wurden 10—15 g Trockenboden in destilliertem Wasser eingeweicht, 1 Stunde gekocht, nach Abkühlung in den Apparat gegeben und dann genau so behandelt wie die übrigen Proben. Die Einzelkornanalyse ist notwendig, um den Krümelanteil richtig bewerten zu können. Erst mit ihrer Hilfe ist es möglich, zu bestimmen, ob die Siebrückstände aus Krümeln oder Einzelkörnern bestehen.

Der Krümelanteil (k) läßt sich in die Gleichung fassen

$$k = a - b - c.$$

Darin bedeuten a = Ausgangsbodenmenge für die Krümelanalyse.
b = abgeschlämmte Bodenteile (< 0,25 mm) der Krümelanalyse.
c = Summe der Siebrückstände der Einzelkornanalyse.

Die Ergebnisse ergeben sich aus den Tabellen 7 und 8. Zu ihrer Erläuterung erscheint es zweckmäßig, um das Wesentliche der Ergebnisse hervorzuheben, die Siebrückstände in drei Gruppen einzuteilen:

1. Die Summe der Rückstände > 3 mm — > 1/4 mm,
2. die Teile > 4 mm,
3. die Teile < 1/4 mm (abgeschlämmte Teile).

Dabei soll auf die letzte Gruppe nicht näher eingegangen werden, weil diese Größenordnung nichts mehr mit einem Krümelgefüge zu tun hat. Ferner ergibt der Vergleich mit der Einkornanalyse, daß es sich auch hierbei nicht um Zusammenballungen handelt, sondern um Einzelkörner, deren Prozentanteil vom Gesamtboden schon bei der mechanischen Bodenanalyse festgestellt wurde.

1. Summe der Rückstände > 3 mm bis > 1/4 mm.

Es zeigen sich kaum Unterschiede zwischen Krümelanalysen — feucht und lufttrocken — und Einzelkornanalysen, d. h. die Rückstände auf den Sieben 3 mm bis 1/4 mm bestehen fast ausschließlich aus einzelnen Bodenkörnern. Damit entfällt auch ein Vergleich der Böden hinsichtlich ihrer optimalen Krümelgrößen (2—1 mm). In den Größen 1/2 und 1/4 mm sind gelegentlich Unterschiede festzustellen — bei OIINu im Herbst und Frühjahr —, diese Anteile fallen aber gegenuber der Hauptgruppe — < 1/4 mm — kaum ins Gewicht, so daß wir berechtigt sind, zu sagen, die vorliegenden Böden besitzen fast gar keine Krümel von der Größenordnung 3—1/4 mm. Aber gerade innerhalb dieser Begrenzung liegen jene Aggregate, die allein darauf Anspruch haben, als Krümel zu gelten. Was in der Größe daruber liegt, war nach der Ansicht im Sieb eher als Scholle zu bezeichnen, und was darunter liegt, ergibt im Vergleich mit der Einzelkornanalyse einwandfrei, daß es sich um Einzelkörner handelt. Die Böden wären damit im wesentlichen bereits charakterisiert; sie zeigen, daß ein Unterschied für die Größenordnung 3 bis 1/4 mm zwischen Riesel- und Naturland nicht besteht. Wesentliche Unterschiede zwischen den Böden im Herbst und Fruhjahr waren ebenfalls nicht festzustellen.

2. Teile > 4 mm.

OII Herbstversuch.

Rieselland. OIIRo setzt sich bei Naturfeuchtigkeit zu 75% aus Teilen > 4 mm zusammen, während der Anteil der gleichen Größenordnung in lufttrockenem Zustand 1,7% beträgt, also ebenso groß ist wie bei der Einzelkornanalyse. Ähnliche Werte sind auch im Untergrund festzustellen. Aus dieser Gegenüberstellung — feucht zu trocken — ist zu erkennen, daß wir es bei dem sehr hohen Gehalt der Teile > 4 mm im feuchten Boden nur mit „scheinbaren“ Krümeln zu tun haben. Diese „Schollen“ sind in Wirklichkeit zusammengeschlämmte Einzelkörner, die nur infolge der Oberflächenspannung des in den engen Poren bereits enthaltenen Wassers so fest gefügt sind, daß neu hinzutretendes Wasser schwer

Tabelle 7. Krumelgrößen.

Boden	Zustand	Art der Analyse	Herbst 1937 Krümelgröße (Anteil in % vom Gesamtboden)							Frühjahr 1938 Krümelgröße (Anteil in % vom Gesamtboden)						
			> 4 mm	> 3 mm	> 2 mm	> 1 mm	> 1/2 mm	> 1/4 mm	< 1/4 mm	> 4 mm	> 3 mm	> 2 mm	> 1 mm	> 1/2 mm	> 1/4 mm	< 1/4 mm
OII Ro	feucht	Krümelanalyse	75,31	0,87	0,84	0,97	2,00	4,10	15,91	85,66	0,85	1,05	0,78	1,05	2,29	8,32
		mittl.Schwankung	± 4,11	± 0,37	± 0,26	± 0,34	± 0,39	± 0,27	± 2,48	± 2,28	± 0,05	± 0,34	± 0,02	± 0,13	± 0,49	± 1,28
	lufttrocken	Krümelanalyse	1,68	0,45	1,06	1,99	21,46	15,16	58,19	2,82	0,93	1,14	1,99	9,96	25,70	57,46
		mittl.Schwankung	± 1,14	± 0,12	± 0,06	± 0,14	± 3,42	± 0,33	± 2,23	± 1,31	± 0,34	± 0,13	± 0,03	± 0,52	± 1,27	± 3,54
		Einzelkornanalyse	1,58	0,74	0,64	1,97	6,68	13,38	75,01							
OII Ru	feucht	Krümelanalyse	68,10	1,85	1,19	1,70	4,61	4,88	17,66	74,76	1,75	2,43	1,74	2,04	3,54	13,74
		mittl.Schwankung	± 15,31	± 0,56	± 0,51	± 1,12	± 3,28	± 1,70	± 8,14	± 0,10	± 0,28	± 0,40	± 0,08	± 0,19	± 0,22	± 0,50
	lufttrocken	Krümelanalyse	0,63	0,94	1,16	2,40	11,53	19,76	63,59	1,18	0,36	1,07	2,06	8,56	30,67	56,10
		mittl.Schwankung	± 0,63	± 0,65	± 0,25	± 0,26	± 1,61	± 1,64	± 2,77	1,02	+ 0,20	± 0,11	± 0,06	± 1,36	± 2,58	± 0,27
		Einzelkornanalyse	2,50	0,57	0,70	2,07	6,87	18,44	68,85							
OII No	feucht	Krümelanalyse	5,27	1,36	1,58	2,40	13,14	17,82	58,44	2,96	0,63	1,26	2,02	6,68	22,08	64,37
		mittl.Schwankung	± 2,35	± 0,42	± 0,06	± 0,09	± 0,21	± 1,05	± 1,54	± 0,80	± 0,43	± 0,03	± 0,04	± 0,09	± 0,32	± 0,88
	lufttrocken	Krümelanalyse	5,94	0,33	1,27	2,49	19,30	18,60	52,07	0,74	0,56	1,08	2,06	7,24	29,49	58,83
		mittl.Schwanknng	± 1,77	± 0,16	± 0,34	± 0,53	± 0,15	± 1,00	± 0,41	± 0,33	± 0,15	± 0,25	± 0,09	± 0,45	± 0,50	± 0,80
		Einzelkornanalyse	—	0,19	—	1,33	6,37	20,08	72,03							
OII Nu	feucht	Krümelanalyse	3,08	0,12	0,70	1,92	10,90	16,57	66,70	3,44	0,33	0,85	1,91	6,31	20,91	66,25
		mittl.Schwankung	± 0,20	± 0,01	± 0,20	± 0,22	± 0,55	± 0,41	± 0,31	± 0,39	± 0,10	± 0,30	± 0,15	± 0,41	± 0,83	± 0,31
	lufttrocken	Krümelanalyse	0,64	0,45	0,56	2,04	11,86	18,89	65,56	3,88	0,42	0,76	1,54	6,77	26,96	59,67
		mittl.Schwankung	± 0,58	± 0,11	± 0,07	± 0,20	± 1,10	± 1,36	± 1,00	± 1,64	± 0,20	± 0,15	± 0,16	± 0,50	± 2,34	± 3,97
		Einzelkornanalyse	—	0,58	1,62	1,47	4,83	14,16	77,34							

Tabelle 8. Krümelgrößen.

Boden	Zustand	Art der Analyse	Herbst 1937 Krümelgröße (Anteil in % vom Gesamtboden) > 4 mm	> 3 mm	> 2 mm	> 1 mm	> ½ mm	> ¼ mm	< ¼ mm	Frühjahr 1938 Krümelgröße (Anteil in % vom Gesamtboden) > 4 mm	> 3 mm	> 2 mm	> 1 mm	> ½ mm	> ¼ mm	< ¼ mm
OI Ro	feucht	Krümelanalyse	57,12	2,05	2,90	3,32	7,34	7,96	19,30	23,85	1,12	1,06	1,82	5,19	17,44	49,52
		mittl. Schwankung	±11,62	±0,41	±0,50	±0,50	±1,28	±1,43	±8,32	±5,54	±0,12	±0,28	±0,32	±0,34	±1,47	±3,02
	lufttrocken	Krümelanalyse	34,28	1,05	1,04	1,98	12,00	14,93	34,72	5,26	1,36	0,84	2,46	9,00	31,18	49,90
		mittl. Schwankung	± 7,97	±0,56	±0,30	±0,03	±2,10	±1,71	±3,27	±3,81	±0,28	±0,16	±0,05	±0,80	±0,74	±3,80
		Einzelkornanalyse	0,59	0,44	0,59	1,89	6,80	15,72	73,97							
OI Ru	feucht	Krümelanalyse	23,42	1,16	1,72	4,32	16,58	10,53	42,26	6,06	0,45	0,82	1,89	6,96	23,12	60,70
		mittl. Schwankung	± 9,25	±0,11	±0,56	±0,38	±3,22	±1,21	±5,67	±2,55	±0,13	±0,24	±0,12	±0,34	±2,18	±0,02
	lufttrocken	Krümelanalyse	16,38	0,72	1,15	3,48	15,76	17,06	45,44	3,81	0,81	1,00	2,10	7,35	23,93	61,00
		mittl. Schwankung	± 0,47	±0,44	±0,07	±0,76	±1,74	±0,39	±1,28	±2,63	±0,20	±0,15	±0,17	±0,22	±1,70	±0,50
		Einzelkornanalyse	1,58	0,61	0,49	1,77	6,84	17,20	71,51							
OI No	feucht	Krümelanalyse	32,54	1,51	1,69	1,95	8,53	13,38	40,41	17,83	1,16	1,82	2,12	5,39	18,28	53,40
		mittl. Schwankung	± 3,99	±0,61	±0,32	±0,12	±0,70	±1,31	±3,54	±1,99	±0,44	±0,61	±0,31	±0,35	±0,00	±3,70
	lufttrocken	Krümelanalyse	28,13	1,52	1,46	1,94	8,36	17,59	41,00	19,30	1,32	1,40	1,38	5,65	24,46	46,49
		mittl. Schwankung	± 0,47	±0,54	±0,08	±0,04	±1,01	±0,13	±1,62	±3,09	±0,04	±0,12	±0,09	±0,15	±5,92	±3,06
		Einzelkornanalyse	0,81	—	0,82	1,66	8,91	18,27	69,53							
OI Nu	feucht	Krümelanalyse	3,61	0,94	1,36	2,58	13,06	16,52	61,93	17,00	8,20	4,78	4,21	5,13	13,56	47,12
		mittl. Schwankung	± 2,15	±0,32	±0,12	±0,07	±0,01	±0,15	±1,80	±0,31	±0,76	±1,60	±0,23	±0,25	±0,08	±2,44
	lufttrocken	Krümelanalyse	1,86	0,90	1,68	2,67	7,79	18,09	67,02	12,94	1,11	1,10	1,50	7,52	22,12	53,71
		mittl. Schwankung	± 1,33	±0,29	±0,02	±0,51	±0,69	±1,43	±0,02	±3,69	±0,33	±0,23	±0,08	±1,36	±3,25	±4,09
		Einzelkornanalyse	1,21	2,13	1,33	2,87	6,39	14,33	71,74							

Teile — die dann größtenteils auch wieder Einzelkörner sind — abspalten kann. Trocknet der Boden nämlich aus — wobei die erreichte Lufttrockenheit des Laboratoriumsversuches in der Natur bei diesem Boden kaum eintreten dürfte —, so fehlt ihm die Kraft, seine Struktur bei Benetzung oder Überstauung mit Wasser zu erhalten. Er zerfällt in seine Einzelteile.

Ähnliches kann am Boden eines Seerandes beobachtet werden, der, ohne ganz unter Wasser zu stehen, doch so viel Feuchtigkeit enthält, daß es gelingt, ein zusammenhängendes Stück aus dem Verbande zu lösen. Trocknet man dieses, so behält es zunächst seine Form bei, um sie sofort zu verlieren, wenn es in Wasser getaucht wird.

Kann also schon nicht von einer Krumelstruktur gesprochen werden, dann noch weniger von einer Stabilität des Bodengefüges.

Bei den mittleren Schwankungen fällt der hohe Wert ± 15,31 für O II Ru (feucht) auf, der vielleicht damit zu erklaren ist, daß die Proben der Parallelversuche aus der Mitte (+ 15,31) und dem Rande (— 15,31) des bereits beschriebenen Nestes (s. Wassergehaltsschichtlinien) stammen. Hoher Wassergehalt und gesteigerte Zusammenballung finden so ihre gegenseitige Bestätigung.

Naturland. O II N gibt mit den Zahlen der Tabelle 7 eine Bestätigung des Becherglasversuches, d. h. der Bodensatz nach dem Übergießen mit Wasser besteht tatsachlich nur aus Einzelkörnern, mag der Boden feucht oder trocken gewesen sein. Der niedrige Anteil von Aggregaten > 4 mm laßt keinen Zweifel darüber, daß auch das Naturland kein Krümelgefuge besitzt, allerdings auch keine „scheinbaren" Krumel wie der Rieselboden bildet. Es fehlen ihm die verkittenden Bodenteilchen kleinster Größenordnung als auch eine genugende Anzahl feinster Poren, die durch Oberflachenspannung einen Zusammenhalt gewährleisten. Die niedrigen mittleren Schwankungen deuten auf die Gleichmäßigkeit des Bodens hin.

O II Fruhjahrsversuch.

Beim Vergleich mit dem Herbstversuch — Riesel- und Naturland — fallen kaum Unterschiede auf, wenigstens nicht von solchem Ausmaß, daß sie den bisher gewonnenen Eindruck der Böden verwischen oder abändern könnten. Die Starrheit beider Böden, die schon bei den Porengrößen — besonders die feinsten Poren betreffend — auffiel, tritt auch hier wieder in Erscheinung. Sie ist besonders auffällig, wenn gesagt wird, daß die Fruhjahrsproben den Teilstücken nach der Bodenbearbeitung entnommen wurden.

O I Herbstversuch.

Rieselland. Hier liegen die Verhältnisse insofern etwas anders, als zwar auch noch erhebliche Anteile der Größenordnung > 4 mm bei feuchter Krume (57%) und feuchtem Untergrund (23%) vorhanden sind, die aber von größerer Stabilität zeugen, wie die entsprechenden Zahlen (34% und 16%) für lufttrockenen Zustand angeben. Daß dieses andersartige Verhalten im Vergleich

zu O II R o aber nicht von der Abwasserzuführung herrührt, zeigt ein Vergleich mit dem Naturland. Hier sind wohl die Anteile der Größenordnung > 4 mm erheblich niedriger als beim Rieselland, das Verhältnis feucht : lufttrocken ist aber ähnlich wie dort.

Man kann also nicht sagen, daß etwa die Stabilität der Krümel durch die Abwasserzuführung herbeigeführt worden ist, denn auch O I N o zeigt mit 32 und 28% bei Feuchtigkeit und Lufttrockenheit eine sehr gute Gleichmäßigkeit. Die Verrieselung hat lediglich die Menge der Aggregate > 4 mm zunehmen lassen, was aber bei der Größe der Teile nicht als eine Verbesserung anzusehen ist.

Bei der Betrachtung der mittleren Schwankungen fällt wieder wie bei O II auf, daß sie beim Rieselland erheblich höher liegen als beim Naturland.

O I Frühjahrsversuch.

Hatten sich bei O II zwischen Herbst und Frühjahr kaum Unterschiede ergeben, so ist bei O I eine teilweise beträchtliche Wandlungsfähigkeit im Riesel- und Naturland zu erkennen. Das sind Anzeichen von Bodentätigkeit, die schon bei der Porengrößenverteilung und besonders deutlich für Rieselland in der Zusammensetzung Boden — Luft — Wasser vorlagen. Das Rieselland ist danach bezüglich der Stabilität seiner Krumelung einer Korrektur zu unterwerfen. In der Krume ist nicht nur eine Abnahme der Teile > 4 mm zu sehen — was an sich bei dem recht hohen Anteil im Herbst eher günstig zu beurteilen wäre —, sondern es zeigt sich auch, daß keine „echte" Krumelung vorliegt. Die Menge der Teile > 4 mm aus dem lufttrockenen Boden ist ganz erheblich zurückgegangen (auf 5%) und hat sich damit dem Wert aus der Einzelkornanalyse bedenklich genähert. Noch weniger vermag man im Untergrund jetzt von Krümelstruktur zu reden. Die Anteile sind mit 6% und 3,8% überhaupt außerst gering und kennzeichnen damit die Einzelkornstruktur des vorliegenden Bodens. Das Naturland weist wohl auch Unterschiede gegen den Herbst auf, die aber doch eine andersartige Beurteilung seiner Struktur nicht zulassen. Um die Hauptsache dabei gleich zu betonen, erscheint das gleichmäßige Verhalten des feuchten und lufttrockenen Bodens, seine Stabilität, besonders wichtig. Der Gehalt an Teilen > 4 mm ist in der Krume zwar auf 18 und 19% gesunken, dafur ist er im Untergrund aber auf 17 und 13% gestiegen so daß in dieser Annäherung ein gewisser Ausgleich zu erkennen ist. Besonders günstig dürfte sich die Intensität der Bodentätigkeit auf den Untergrund, vor allem auf seine Durchlüftung, auswirken.

Als Abschluß des Kapitels über die Krumelgrößen kann gesagt werden:

Die Osdorfer Böden, Riesel- und Naturland, haben Einzelkornstruktur. Sie ist bedingt durch das Bodenmaterial, dem die notwendige Menge an abschlämmbaren Teilen fehlt, welche für Krümelbildung notwendig ist (48). Wenn von einer Umformung

durch die Berieselung gesprochen werden darf, so nur von einer mittelbaren, die dem Porenraum andere Gestalt gibt. Dadurch entstehen z. T. Zusammenballungen, die aber nur den Wert „scheinbarer" Krümel, also keine Stabilität, besitzen. Ansätze zu einer echten Krümelung in günstigem Ausmaß sind bei O I N zu erkennen.

Zusammenfassung.

Zur Feststellung von Veränderungen der physikalischen Bodenverhältnisse durch Abwasserzuführung wurden vergleichende Untersuchungen auf den Berliner städtischen Rieselgütern Osdorf und Hobrechtsfelde ausgeführt. Die Berliner Rieselfelder erschienen wegen ihres langjährigen Rieselbetriebes (seit 1870) besonders dafür geeignet, weil ihr Alter am sichersten eine mögliche Strukturveränderung gewährleistet. Als Vergleichspaare wurden Riesel- und Naturlandteilstücke ausgewählt, die neben anderen eingehaltenen Bedingungen (vgl. S. 259) Gleichwertigkeit, möglichst benachbarte Lage und gleiche Fruchtarten aufwiesen; besonders beachtet wurde ferner, daß als Rieselland ausgeruhte Schläge genommen wurden. Osdorf besitzt den besseren Boden (Katasterbonitierung A 5—7), während Hobrechtsfelde als ehemaliges Waldgelände ganz leichten Sandboden hat (Katasterbonitierung H 7). Die Entnahme der Bodenproben erfolgte im Stechzylinder ohne Anwendung eines Bohrers. Sie wurde im Herbst 1937 und Frühjahr 1938 ausgeführt, um damit Vergleiche für Veränderungen von Wassergehalt, Poren- und Krümelgrößen zu erhalten.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf:

1a. Korngrößenzusammensetzung.

Durch die Abwasserzuführung haben die Korngrößen in ihrem Prozentanteil des Gesamtbodens eine Veränderung erfahren. Diese Korngrößenverschiebung hält sich in engen Grenzen. Eine Zunahme ist allgemein bei den Korngrößen < 0,1 mm zu erkennen. Die abschlämmbaren Teile (< 0,01 mm) haben in Hobrechtsfelde ebenfalls eine weitere Anreicherung erfahren, während in Osdorf eine Fortschlämmung eingetreten ist.

1b. Glühverlust.

Die organischen Stoffe haben bei den Hobrechtsfelder Rieselböden sehr stark zugenommen. Der Glühverlust liegt um etwa 60% über dem des Naturlandbodens.

Die Osdorfer Böden sind auf den Glühverlust hin nicht untersucht worden.

2. Porengrößenverteilung.

Die feinen Poren, die hauptsächlich für den Wasserhaushalt des Bodens in Frage kommen, haben bei allen Rieselböden sehr stark zugenommen. Ihr Anteil ist in Osdorf in solchem Umfange gestiegen (bis zu 86% des Gesamtporenraumes), daß von einer ungünstigen Beeinflussung der Struktur gesprochen werden kann, während der leichte Hobrechtsfelder Boden eine hervorragende Verbesserung zu verzeichnen hat.

Vom Herbst zum Frühjahr kann aus der Umformung des Porenraumes bei einzelnen Böden auf eine erhebliche Bodentätigkeit geschlossen werden, die sich am günstigsten wiederum in Hobrechtsfelde auswirkt. Sie steigert sich z. T. bis zur Angleichung von Riesel- an Naturland.

3. Wassergehalt.

Der Wassergehalt des Rieselbodens ist im Herbst und Frühjahr immer höher als im Naturland. Der Unterschied tritt besonders krass in Hobrechtsfelde hervor, was mit dem Glühverlust und den Porengrößen (s. lfd. Nr 1b und 2) in Einklang steht.

Die räumliche Verteilung des Wassers ist im Rieselboden auffällig ungleichmäßig und äußert sich in sprunghafter Zu- und Abnahme engbenachbarter Stellen, wohingegen das Naturland eine gewisse Ausgeglichenheit im Wassergehalt aufweist.

4. Durchlüftung.

Die Durchlässigkeitszahlen für Luft (nach Janert) sinken auf dem Rieselfeld in Osdorf bis zur Hälfte der des Naturlandes, während in Hobrechtsfelde die Abnahme nur als äußerst geringfügig anzusehen ist. Die Ergebnisse decken sich also mit denen der Porengrößenverteilung (lfd. Nr. 2). In Osdorf wird sich teilweise Luftmangel im Riesellandboden bemerkbar machen, in Hobrechtsfelde dagegen hat die Luft im Riesellandboden kaum etwas an Menge und Beweglichkeit eingebüßt.

5. Benetzbarkeit.

Der Riesellandboden benetzt sich schneller und reichlicher mit Wasser als der Naturboden. Die verbessernde Wirkung des Abwassers tritt besonders deutlich in Hobrechtsfelde hervor, wo der Naturlandboden noch alle Anzeichen von Schwerbenetzbarkeit aufweist.

6. Benetzungswärme.

Die Benetzungswärme des Riesellandbodens liegt erheblich höher als die des Naturlandbodens; sie steigert sich z. T. bis zum 3- und 5fachen Betrag der Benetzungswärme des Naturlandbodens.

7. Krümelgroßen.

Die vorliegenden Naturlandböden haben Einzelkornstruktur. Eine Einwirkung durch Abwasseruberstauung auf die Krümelfähigkeit kann nicht festgestellt werden, zumindest keine Verbesserung, weil die Riesellandböden ärmer an abschlämmbaren Teilen geworden sind (s. lfd. Nr. 1a), die zur Bildung von Krumeln aber unumgänglich notwendig sind.

Die Hobrechtsfelder Böden sind der Krümelanalyse nicht unterworfen worden.

Es ergibt sich also, daß mit der Anderung des physikalischen Verhaltens der berieselten Böden nicht immer auch zugleich eine Verbesserung stattgefunden hat. Wie die Einflüsse sich dabei z. T. gegenteilig geltend machen, ist an den verschiedenartigen Auswirkungen in Hobrechtsfelde und Osdorf klar geworden. Der leichte frühere Waldboden in Hobrechtsfelde hat dabei die größten Verbesserungen zu verzeichnen. Dieses ist bei den etwas besseren Osdorfer Böden nicht in allen Punkten festzustellen (z. B. Porengrößen, Durchlüftung). Wenn trotzdem ein hoher Ertrag der Fortführung der Rieselwirtschaft ihre Berechtigung gibt, so liegt das an dem Nährstoffreichtum des Abwassers. Mit ihm dürften die bei

manchen Böden auftretenden Verschlechterungen in physikalischer Hinsicht vollkommen überdeckt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das physikalische Verhalten der Riesellandböden ein anderes ist als das der Naturlandböden. Es gestaltet sich bei den leichtesten Böden (Hobrechtsfelde) am weitaus günstigsten, während die verbessernden Einwirkungen mit zunehmender Bodenqualität (Osdorf) mehr und mehr zurücktreten.

Am Schluß der Arbeit möchte ich nicht versäumen, Herrn Professor Freckmann fur die Unterstützung und Förderung, die er mir zuteil werden ließ und die die praktische Durchführung der Versuche überhaupt erst ermöglichten, meinen aufrichtigen Dank abzustatten. Ferner danke ich den Herren der Berliner Stadtgüter für die Auskunfte und Hinweise bei der Auswahl der Versuchsteilstücke, ganz besonders aber Herrn Dr. Baumann für die Ratschläge, die mir an den kritischen Stellen meiner Untersuchungen von hohem Wert waren.

Schrifttum.

1. Weyl, Th.: Handbuch der Hygiene, Band 2 (Stadtereinigung). Jena 1897.
2. Fünfzig Jahre Berliner Stadtentwässserung, 1878—1928. Berlin 1928.
3. Langbein, F.: Die Abwasserbeseitigung in England, Schottland und den Vereinigten Staaten von Amerika unter besonderer Berücksichtigung der Belebtschlammkläranlagen und ihrer Bedeutung für die Entlastung der Berliner Rieselfelder. Gesundheitsingenieur, **52**, 1929, 281 ff.
4. Kretzschmann, H. J.: Entwicklung, Bewirtschaftung und Bedeutung der Berliner Stadtgüter. Diss. Berlin 1930.
5. Nordt, A.: Bau und Betrieb der Kläranlage Saspe in Danzig. Gesundheitsingenieur, **61**, 1938, 7ff.
6. Weber, O: Über Veränderungen des Bodens durch Abwasser. Kulturtechniker, **40**, 1937, 336—350.
7. Strell, M.: Abwasserkläranlagen deutscher Städte. Göttingen 1915.
8. Kötting, Dr.: Die Verwertung der städtischen Abwässer durch die Landwirtschaft. Deutsche Landw. Presse, **62**, 1935, 191.
9. Schönwälder, B.: Die Rieselfeldanlage in ihrer Abhängigkeit von der Wasserdurchlassigkeit des Bodens. Kulturtechniker, **31**, 1928, 361—391.
10. Ehrenberg, P.: Die Bodenkolloide. Dresden-Leipzig 1918.
11. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Teil 3, Band 7 (Wasserbau-Meliorationen). Herausgeg. v. J. F. Bubendey u. a. Leipzig 1910/11.
12. Kohlschütter, H.: Landwirtschaftliche Werte im unbehandelten Abwasser. Dtsche. Landeskulturztg., **5**, 1926, 1, 13—15.
13. Carl, A.: Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung. Mtt. Landwirtschaft, **52**, 1937, 34, 715—717.
14. Backhaus, A.: Landwirtschaftliche Versuche auf den Rieselgütern der Stadt Berlin im Jahre 1904. Berlin 1905.
14a. Fischer: Das Wasser, seine Verwendung, Reinigung und Beurteilung. Berlin 1902.
15. Statistisches Jahrbuch der Stadt Berlin 1936 u. 1937. Berlin 1937 u. 1938.
16. Krauß, G.: Ergänzender Bericht über den Prager bodenkundlichen Kongreß. Int. Mitt. Bodenkunde, **13**, 1923, 147—160.
17. Vageler, P., u. F. Alten: Die Böden des Nil u. Gash II. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A **21**, 1931, 323—346.
18. Laatsch, W.: Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden. Leipzig-Dresden 1938.
19. Janert, H.: Neue Methoden zur Bestimmung der wichtigsten Grundkonstanten des Bodens. Landw. Jahrb., Berlin, **66**, 1927, 425—474.
20. Koettgen.: Zur Methodik der mechanischen Bodenanalyse. Int. Mitt. Bodenkunde., **7**, 1917, 205—246.

21. Köhn, M.: Bemerkungen zur mechanischen Bodenanalyse II. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **10**, 1927, 91—99.
22. Kohn, M.: Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse. Landw. Jahrb., Berlin, **67**, 1928, 485—543.
23. Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde für Land- u. Forstwirte, Berlin 1923, 4. Aufl.
24. Schubert, H.: Einfluß der Vorbehandlung der Böden auf die Ergebnisse der mechanischen Bodenanalyse. Kulturtechniker, **32**, 1929, 227—259.
25. Ehrenberg, P.: Neue Fragen der Bodenstruktur. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **19**, 1931, 44—77.
26. Knopf: Welche Änderung verursacht die Berieselung mit Spüljauche in der Zusammensetzung des Bodens mit besonderer Berücksichtigung des Kalkgehaltes? Diss. Berlin 1911.
27. Lemmermann, O., u. L. Fresenius: Methoden für die Untersuchung des Bodens. 3. Beiheft z. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin 1934.
28. Alten, F., u. E. Knippenberg: Ein Beitrag zur Vorbehandlung der Böden nach d. Pipettmethode. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **31**, 1933, 4/6, 193—208.
29. Donat, J.: Zur Kennzeichnung des Bodengefüges. Kulturtechniker, **41**, 1938, 32—47.
30. Donat, J.: Ein Verfahren zur Kennzeichnung des Bodengefüges. Ernährung der Pflanze, Berlin, **33**, 1937, 23, 357—360.
31. Sekera, F.: Die Strukturanalyse des Bodens. Bdkde. u. Pflzern., Berlin, **6**, 1938, 5/6, 259—288.
32. Vageler, P., u. F. Alten: Böden des Nil und Gash IV. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **22**, 1931, 191—267.
33. Hilgard, E. W.: Soils. New York 1906, zit. nach lfd. Nr. 10.
34. Hissink, D. J.: Die Einwirkung verschiedener Salzlösungen auf die Durchlässigkeit des Bodens. Intern. Mttlgn. f. Bdke., **6**, 1916, 142—151.
35. Sekera, F.: Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **22**, 1931, 87—111.
36. Jung: Untersuchungen über die Einwirkungen des Frostes auf den Erdboden. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **19**, 1931, 326—333.
37. Janert, H.: Untersuchungen über die Benetzungswärme des Bodens. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **19**, 1931, 281—309.
38. Freckmann, W., u. H. Baumann: Zu den Grundlagen des Wasserhaushaltes im Boden und seine Erforschung, II. Bdkde. u. Pflzern., Berlin, **7**, 1938, 3/4, 129—161.
39. Vageler, P., u. F. Alten: Böden des Nil und Gash III. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, A **22**, 1931, 1/2, 21—51.
40. Freckmann, W., u. H. Baumann: Zu den Grundlagen des Wasserhaushaltes im Boden und seiner Erforschung. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, **2** (47), 1937, 3/4, 127—166.
41. Blohm, G.: Der Einfluß der Bodenstruktur auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Landw. Jahrb., **66**, 1927, 147—183.
42. Giesecke, F.: Das Verhalten des Bodens gegen Luft. Blancks Handbuch der Bodenlehre, **6**, Berlin 1930, 253—342.
43. Schmitz, F. D.: Die Bestimmung des Einflusses der Bodenbearbeitung auf den phys.-mechan. Zustand d. Ackerbodens. Forschungsd., Berlin, **4**, 1937, 6, 267—273.
44. Bericht über die 11. Tagung des DAfK. Kulturtechniker, **40**, 1937, 260—313.
45. Giesecke, F.: Benetzbarkeit der Böden. Blancks Handbuch der Bodenlehre, **6**, Berlin 1930, 319—322.
46. Enslin, O.: Über einen Apparat zur Messung der Flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen Stoffen und zur Charakterisierung der Benetzbarkeit. Chem. Fabrik, **6**, 1933, 147.
47. Meyer, L., u. U. v. Rennenkampff: Neuer Apparat und Methode zur automatischen Durchführung der Krümelanalyse nach Tjulin und Vorschläge zur Bestimmung des Krümelanteils, der Krümelgrößen und der Krümelfähigkeit des Bodens. Z. f. Pfl., Düng. u. Bdkde., Berlin, **43**, 1936, 5/6, 268—280.
48. Meyer, L.: Forschungen über die optimale Kulturform des Ackerbodens. Forschungsdienst, Berlin, **2**, 1936, 5, 236—243.

Ein Arbeitsgang zur serienmäßigen Bestimmung von Vergleichswerten physikalischer Bodeneigenschaften an in natürlicher Lagerung entnommenen Zylinderproben.

Von **Wilhelm Schoel,** Königsberg (Pr.).
Eingegangen: 13. Januar 1939.

Bei manchen phytopathologischen Stoffwechsel- sowie Wachstumsstörungen der Pflanzen vermutet man oder weiß aus Anzeichen, daß diese Krankheitserscheinungen durch die physikalischen Bodenverhältnisse verursacht oder ausgelöst bzw. beeinflußt werden (1) So konnte Ehrke (2—4) für die Eisenfleckigkeit der Kartoffel zeigen, daß die „kranken" Standorte, d. h. solche, auf denen die Eisenfleckigkeit auftritt, sich häufig bereits in ihrem sichtbaren Profilaufbau von den „gesunden". auf denen die Krankheitserscheinung nicht auftritt, unterscheiden. Da jedoch Unterschiede im Auftreten der Eisenfleckigkeit der Kartoffel auch dann beobachtet wurden, wenn an den Profilen äußerlich keine Besonderheiten feststellbar waren, stand eine endgültige Klärung der näheren Zusammenhänge lediglich von eingehenden Untersuchungen der nicht ohne weiteres sichtbaren Bodenphysik von „gesunden" und „kranken" Standorten zu erwarten.

Eine Erfassung der absoluten Werte bodenphysikalischer Eigenschaften ist jedoch mit unseren bisherigen Hilfsmitteln kaum möglich. Das verschiedene Verhalten der Böden kann nur aus der Gegenüberstellung gleichartig durchgeführter, konventioneller Bestimmungen rückgeschlossen werden.

Fraglos liegt es in der Schwierigkeit des Untersuchungsobjektes begründet, daß wohl auf keinem Gebiet experimenteller Forschung eine derartige Vielzahl von Methoden vorhanden ist, wie gerade in der Bodenphysik. Von allen können zweifelsohne Bestimmungen direkt am Standort am ehesten den natürlichen Verhältnissen entsprechen. Sie erfordern aber entweder größere technische Anlagen (5) oder machen zu verschiedenen Zeiten wiederholte Standortuntersuchungen (6, 7) notwendig. Bei größerer räumlicher Entfernung der zu untersuchenden Böden und ohne die Möglichkeit, diese im voraus wenigstens annähernd festzulegen, wie es durch das unvermittelte und unvorhergesehene Auftreten der Eisenfleckigkeit bedingt war, lassen sich derartige Verfahren praktisch nicht durchführen. Vielmehr wird es in einem solchen Falle fast immer notwendig sein, das Untersuchungsmaterial aus dem natürlichen Verbande des Bodens zu entnehmen und die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften in das Laboratorium zu verlegen.

Die Entnahmemethode und das Entnahmegerät, für die ebenfalls die verschiedensten Ausführungen vorgeschlagen werden (8), richten sich im wesentlichen nach dem Zweck und vor allem nach der Art der Durchführung der Untersuchungen. Über diese besteht gleichfalls selbst in neuerer Zeit keine einheitliche Grundauffassung (s. Literaturzusammenschau von A. Densch, F. Zunker u. a. in E. Blanck (9) sowie Lemmermann (10)). Viele Bodenkundler benutzen bei allen Bestimmungen physikalischer Eigenschaften den in seiner Lagerung veränderten, lufttrockenen Boden und zwar meist, geleitet von dem Streben nach einem gleichartigen Ausgangsmaterial, lediglich den

Feinboden. Soweit es sich dabei um die Erfassung des mechanischen Aufbaus des Bodens aus Primärteilchen handelt, kann man gewiß in Grenzen den Feinboden zur Charakterisierung des Naturbodens heranziehen. Die Gesamtheit der Eigenschaften jedoch, die von dem Gefüge und der Lagerung, von der Struktur abhängig ist, und zwar vor allem das Verhalten des Bodens zum Wasser und gegen Luft, läßt sich lediglich durch Bestimmungen an in natürlicher Lagerung entnommenen und untersuchten Bodenproben vergleichbar erfassen.

Die Entnahme von Erdschollen (11, 12) kann bei „Kartoffelböden" nicht oder nur selten angewendet werden. Wohl aber besteht die Möglichkeit mittels Stechzylinder, auf mehr oder weniger bindigen Böden gleich gut, Bodenproben strukturgemäß zu entnehmen und sie einer gleichbleibenden, den natürlichen Verhältnissen möglichst nahe kommenden Untersuchung zu unterziehen.

Die Bestimmung bodenphysikalischer Eigenschaften an mittels Stechzylinder unter Wahrung der Struktur entnommenen Bodenproben ist keineswegs etwas Neues (s. Literaturzusammenschau von F. Giesecke in E. Blanck (13)). Indes begnügte sich die Mehrzahl der Untersucher bisher mit der Erforschung der obersten Bodenschichten. Durch das von A. Hey (14) konstruierte neuartige Entnahmegerät ist nunmehr die Möglichkeit erschlossen, mühelos, sowie ohne erhebliche Störung des Pflanzenbestandes und des natürlichen Bodenaufbaues, auch aus größeren Tiefen Proben in unveränderter Lagerung zu entnehmen und damit „den Gesamtbereich der wirksamen Wurzeltiefe zu erfassen." Zum weiteren beschränkte man sich bisher zumeist auf die Bestimmung einer oder einiger weniger Eigenschaften an einer Zylinderprobe. Die Erfassung einer größeren Anzahl physikalischer Eigenschaften an einer Zylinderprobe haben bisher lediglich Engler (15), Burger (16) und Nitzsch (17) praktisch durchgeführt. Sie ermitteln nacheinander in einem Arbeitsgang: Bodenvolumen, Porenvolumen, Luftkapazität, Wasserkapazität, den Wassergehalt des Bodens bei der Probenahme und zum Teil auch die Einsickerungsgeschwindigkeit. Diese Faktoren mögen zwar ausreichen, um den „Raumanteil und die Raumverteilung von Bodensubstanz, Wasser, sowie Luft zu erfassen", um daraus praktische Maßnahmen der Bodenbearbeitung zu folgern (18, 19). Da aber im vorliegenden Falle der Bodenuntersuchungen im Zusammenhang mit der Eisenfleckigkeit der Kartoffel nicht vorauszusehen war, welche physikalischen Eigenschaften zu den phytopathologischen Störungen in Beziehung standen, vielmehr sehr wohl mit der Möglichkeit gerechnet werden mußte, daß sie weit mehr von den dynamischen Kräften, insbesondere von der Wasserbewegung im Boden, ausgelöst werden, so erschien es wünschenswert und notwendig, die Bestimmung dieser physikalischen Faktoren stärker zu berücksichtigen, kurzum, die Anzahl der zu bestimmenden Eigenschaften zu vermehren und die bisherigen Arbeitsgänge zu erweitern. Außerdem hielten wir es für angebracht, die Methodik, soweit im Rahmen des Arbeitsganges liegend, weitmöglichst zu verbessern.

So entstand aus der praktischen Fragestellung nach den tieferen Ursachen der Eisenfleckigkeit vorliegender Arbeitsgang zur serienmäßigen Bestimmung von Vergleichswerten physikalicher Bodeneigenschaften an in natürlicher Lagerung entnommenen Zylinderproben. Um einerseits die Möglichkeit zu geben, ihn bei ähnlich ausgerichteten Bodenuntersuchungen anzuwenden, sowie ihn weiter auszubauen und zu verfeinern, soll er im Folgenden beschrieben werden.

Die Bodenentnahme.

Die Bodenentnahme erfolgte in Zylindern von 49 mm Durchmesser, 100 mm Höhe und 1 mm Wandstärke mit dem Heyschen Entnahmegerät (14). Sie geschah in fortlaufender Tiefenfolge, so daß die Möglichkeit bestand, durch Aufeinandersetzen der Zylinder später das vollständige Profil wieder herzustellen. Für gewöhnlich erfolgte die Entnahme bis zu einer Tiefe von 70 bis

90 Zentimeter. Jedoch zeigte sich bei gelegentlichen Bohrungen bis auf 3,00 Meter, daß das Gerät auch zur Entnahme aus größeren Tiefen sehr gut geeignet ist. Die gefüllten Zylinder wurden am Standort von äußerlich anhaftendem Boden gereinigt, mit Deckeln versehen, zum Schutze gegen Verdunstung mit Dichtungsstreifen verklebt und gut verpackt unter möglichster Vermeidung jeglicher Erschütterung zum Untersuchungsort gebracht.

Der fortlaufende Untersuchungsgang in strukturgemäßer Lagerung.

Bei der Untersuchung werden zunächst die Dichtungsverschlüsse sowie der untere Deckel entfernt und die Zylinder samt ihren Inhalten gewogen. Aus dem Gesamtgewicht abzüglich der Tara für den Zylinder plus Deckel ergibt sich das augenblickliche Frischgewicht des Bodens. Danach erfolgt die Trocknung.

So wenig erwünscht diese hinsichtlich der Erhaltung der Struktur erscheinen mag, erweist sie sich dennoch als notwendig, um bei den nachfolgenden Be-

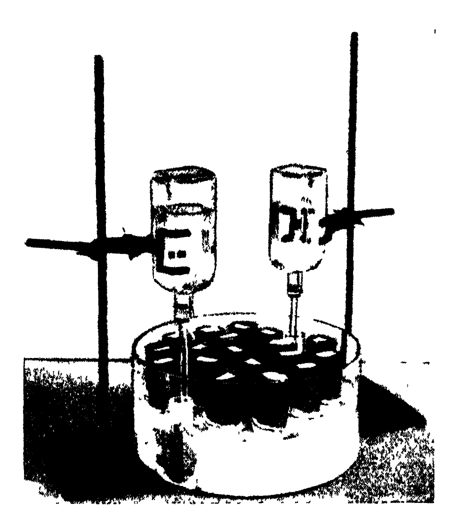


Abbildung 1.
Das „Aufstieggefäß" zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufs der kapillaren Wasseraufnahme und der „kleinsten" Wasserkapazität.

stimmungen des kapillaren Aufstiegs und der Wasserkapazität vergleichbare Resultate zu erhalten. Bereits Schumacher (20) und Wollny (21) haben beobachtet, daß beim kapillaren Aufstieg die Steighöhe des Wassers je nach der Ausgangsfeuchtigkeit des Bodens ganz verschieden ist. Auch kommt es nach Zunker (22) „sehr oft auf den anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt der Bodenprobe an, indem ein feuchter Boden von vornherein mehr Luftblasen einschließt, die sich schwerer verdrängen lassen als in einem lufttrockenen Boden".

Das beste Verfahren zur Entwässerung des Bodens ist fraglos die Trocknung mit Phosphorpentoxyd im Vakuum (23). Sie wird in jedem Falle der Trocknung im Heiß-Schrank vorzuziehen sein, auf die leider, aus Mangel an Gerät, in unserem Falle zurückgegriffen werden mußte.

Um die Trocknung möglichst schonend vorzunehmen, wurden die Bodenzylinder zunächst in einem sich nur langsam erhitzen-

den Thermostaten von 70 Grad zweimal 24 Stunden vorgewärmt und dann erst in einem Heißschrank von 103 Grad bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Wägung, nach sorgfältiger Abkühlung in einem Exsikkator, ergibt das Trockengewicht des Bodens. Dieser Wert ermöglicht es uns, aus dem Frischgewicht den augenblicklichen Wassergehalt bei der Entnahme, sowie späterhin die Wassergehalte bei verschiedener Absättigung festzustellen. Insbesondere dient uns das Trockengewicht zusammen mit dem spezifischen Gewicht (s. u.) zur Errechnung des als Bezugsgröße wichtigen Bodenvolumens. Nunmehr wird über die Bodenöffnung des Zylinders mit einem Gummiring ein tariertes Filtrierpapier gespannt und auch der obere Deckel entfernt. Der Bodenzylinder kommt dann in das „Aufstieggefäß“ (Abb. 1). Dieses ist eine feuchte Kammer, deren Boden 2—3 cm hoch mit Wasser bedeckt ist. Der Wasserspiegel wird je nach der Größe

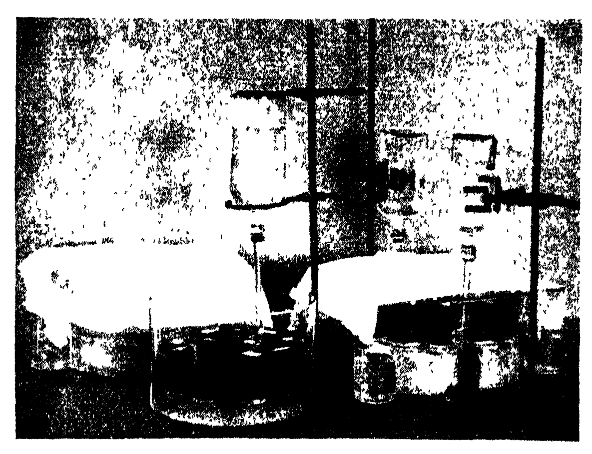


Abbildung 2.
Im Vordergrund ein „Vollsättigungsgefäß“. Rechts davon ein Aufstieggefäß, links eine Abtropfkammer. Letztere gegen Verdunstung mit feuchtgehaltenem Filtrierpapier zugedeckt.

des Gefäßes durch zwei oder mehrere, selbsttätig wirkende Wasservorratsflaschen exakt konstant gehalten und kann in seitlich angebrachten, als Wasserstandsgläser dienenden, weiten Glasröhren jederzeit kontrolliert werden. Auf einer dünnen Schicht grobem Kies ist 7 cm hoch über den Wasserspiegel Feinsand in das Gefäß eingefüllt. Die Kapillarität des Sandes saugt das Wasser empor und führt es den über dem Sand auf einem Bogen Filtrierpapier stehenden Bodenzylindern zu. Es wird nun die Gewichtszunahme nach 1, 2, $3^{1}/_{2}$, 6, 1 × 24, 2 × 24 usw. Stunden und somit der zeitliche Verlauf der kapillaren Wasseraufnahme festgestellt. Die Gewichtszunahme wird täglich bis zur Konstanz gemessen. Sie tritt bei manchen Böden nach wenigen Tagen, oftmals aber erst nach ein bis zwei Wochen ein. Der zuletzt erreichte Sättigungsgrad kann, zum Unterschied zur vollen Absättigung, in Anlehnung an Mayer (24) und Schucht (25) als kleinste Wasserkapazität bezeichnet werden. Gleichzeitig wird neben der quantitativen Wasseraufnahme die Zeit gemessen, die

vom Aufsetzen der Zylinder auf die feuchte Sandschicht bis zur Durchfeuchtung der Bodenoberfläche verstreicht. Wir erhalten dadurch einen Vergleichswert für die Aufstieggeschwindigkeit. Anschließend wird dann der Bodenzylinder 1 × 24 Stunden ganz in Wasser gestellt und völlig abgesättigt. In der diesem Zwecke dienenden feuchten Kammer (Abb. 2) ist wiederum durch Vorratsflaschen für eine gleichbleibende Höhe des Wasserspiegels gesorgt. Nach 1 × 24 Stunden hat sich nun die Absättigung vollzogen (17). Dann kommt der Bodenzylinder zum Abtropfen 2 Stunden in die „Abtropfkammer" (Abb. 3). Diese ist ebenso eingerichtet wie das Aufstieggefäß, wirkt jedoch in entgegengesetztem Sinne. Durch einen selbsttätig arbeitenden Überlaufheber wird das von dem Boden wieder abgegebene Wasser abgeleitet und der Wasserspiegel genau 7 cm unter der Oberfläche der Sandschicht fixiert.

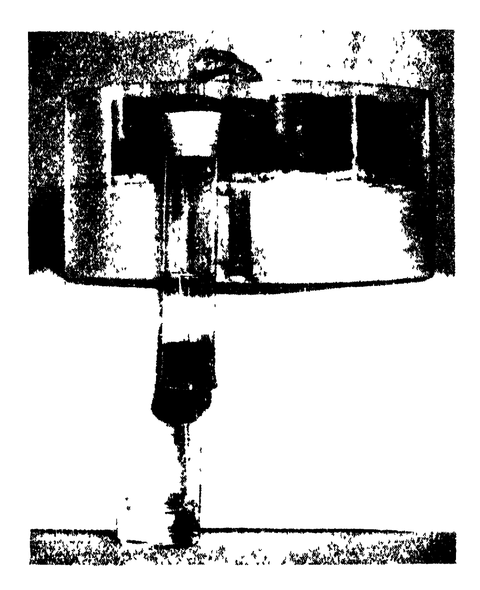


Abbildung 3.
Die „Abtropfkammer" mit selbsttätigem Überlaufheber zur Ableitung des überschüssigen Wassers bei der Bestimmung der großen Wasserkapazität.

Orientierende Versuche zeigten, daß nach 2 Stunden das überschüssige Wasser aus den Bodenzylindern abgelaufen und praktisch die Gewichtskonstanz erreicht ist.

Durch Wägung erhalten wir die Wassermenge, die der völlig mit Wasser abgesättigte Boden über einer 7 cm hohen, feuchten Sandschicht zu halten vermag, die als große Wasserkapazität bezeichnet werden kann.

Die Bestimmung der sogenannten „kleinsten" Wasserkapazität lehnt sich im Prinzip an ein von Sekera (12) entwickeltes Verfahren an, welches uns aus verschiedenen Gründen brauchbar erschien. Einmal ermöglicht die Absättigung über einer 7 cm hohen Sandschicht fraglos eine genaue Definition der betreffenden Wasserkapazität insofern, als sich aus der Kapillaritätskurve ergibt, daß „Wasser, welches höher als 7 cm steigt, sich nur noch in Röhrensystemen mit einem Äquivalentdurchmesser von kleiner als 0,2 mm bewegt".

Ferner wird durch die langsamere Wasseraufnahme gegenüber anderen Verfahren (27), bei denen die Bodenzylinder unmittelbar in Wasser eingetaucht werden und das Wasser wenigstens zu Anfang, unter Überdruck, sehr rasch eindringt, eine allmählichere und damit vollständigere Austreibung der Luft erreicht. So war bei Vergleichsbestimmungen, bei denen von zwei gleichmäßig mit trockenem Feinboden angefüllten Zylindern der eine zunächst auf 7 cm Sand und dann erst bei hohem Wasserstand abgesättigt, der andere unmittelbar bis zur Oberfläche in Wasser gestellt wurde, der erstere in jedem Falle schwerer. Außerdem ergaben Wiederholungsbestimmungen nach dem ersten Verfahren gleichsinnige Werte, während dies bei der zweiten Bestimmungsart weitaus seltener der Fall war. Schließlich bedarf es kaum eines Hinweises, daß die Absättigung über einer feuchten Sandschicht eher den natürlichen Verhältnissen entspricht, als das direkte Eintauchen des Bodens in Wasser, welches in der Natur lediglich ausnahmsweise, bei im Bereich des Grundwassers liegenden Bodenschichten, der Fall ist.

Die Bestimmung der sogenannten „großen" Wasserkapazität entspricht dem üblichen Verfahren (26, 27, 17) jedoch haben wir zur Ableitung des überschüssigen Wassers an Stelle des für gewöhnlich benutzten, in seinem Leitwert schwer erfaßbaren Filtrierpapierstreifens wiederum die 7 cm hohe Sandschicht verwandt.

Wir glauben durch Einführung des Aufstieggefaßes, Vollsättigungs- und Abtropfgefäßes und durch die selbsttätige Regulierung der Wasserzufuhr und

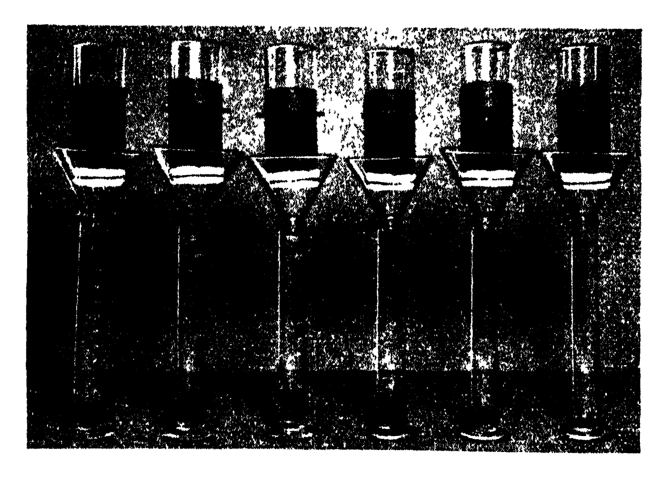


Abbildung 4.
Bodenzylinder mit aufgesetztem Glaszylinder zur Bestimmung des Filtrationswiderstandes. (Der besseren Übersicht halber sind die Wasserzuleitungen, sowie das Wasservorratsgefäß, die Überlaufheber und das Gestell zum Halten von Zylinder nebst Trichtern fortgelassen. S. Abb. in 23, S. 19, 20.

-Ableitung sowie durch die Hintereinanderkopplung der Bestimmungen der sogenannten kleinsten und großen Wasserkapazität eine gegenüber den bisherigen Verfahren verbesserte Möglichkeit zur serienmäßigen Bestimmung von Vergleichswerten gegeben zu haben.

Anschließend wird nun auf dem Metallzylinder mittels eines Gummiringes oder eines Klebstreifens (Lassoband) ein Glaszylinder aufgesetzt und der Boden über einem graduierten Standglas aufgestellt (Abb. 4). Um das Aufspülen oder Verschlämmen zu vermeiden, wird auf den Boden ein rundes Blatt Filtrierpapier gelegt und dann der Boden etwa 3 cm hoch mit Wasser

überschichtet, was bei einem Durchmesser der Glaszylinder von 49 mm etwa einer Menge von 50 ccm entspricht. Aus einem Vorratsgefäß nachfließendes Wasser sorgt stets für Ersatz der eingesickerten Flüssigkeit. Das unerwünschte Hühersteigen des Wasserspiegels wird mittels selbsttätiger Kapillarheber (23), besser und sicherer mittels kleiner Überlaufheber (s. o.), verhindert. Auf diese Weise war die Möglichkeit gegeben, an derselben Bodenprobe, an der zuvor die Wasserkapazität ermittelt wurde, nunmehr die Durchlaufgeschwindigkeit einer bestimmten Wassermenge bei voller Sättigung und gleichbleibendem Druck festzustellen. Man erhält dadurch einen Vergleichswert von dem Filtrationswiderstand des Bodens (Durchlauf I).

Auf ähnliche Art wurde die Durchlässigkeit bereits von Kopecky (28), dem eigentlichen Begründer der Zylindermethodik durchgeführt. Wohl fehlt es nicht an Einwanden (29), die insbesondere betonen, daß an den Zylinderwänden Stromungsstorungen statthaben konnen, doch mochten wir glauben, daß dies, sofern nicht gerade eine Schrumpfung des Zylinderinhalts durch das Trocknen eingetreten ist, bei einem Vergleich gleichartig durchgeführter Bestimmungen nicht erheblich ins Gewicht fällt. Anders ist es mit dem Ver-



Abbildung 5.
Messung der zeitlichen Wasserabgabe in einem temperaturkonstanten Warmraum. Die zwischen den Bodenzylindern stehenden Wassergefäße dienen zur Feststellung des Gewichtsverlusts einer gleichgroßen Wassermenge.

schlämmen des Bodens. Da ja die Zylinderprobe noch weiteren Bestimmungen dienen soll, wurde auf deren Vermeidung großte Obacht gegeben und die Bestimmung entsprechend der Durchlaufgeschwindigkeit nur kurze Zeit durchgeführt. Es konnte indes beobachtet werden, daß beim feuchten Boden die Gefahr des Verschlämmens erheblich geringer war, als wenn man den Trockenboden als Ausgangsmaterial wählte.

In unserem Arbeitsgang wird nun auf den mit Wasser abgesättigten Bodenzylinder wiederum der untere Deckel aufgesetzt. Es folgt in einem temperaturkonstanten Warmraum — im vorliegenden Falle 22 Grad bei durchschnittlich 60% relativer Luft-

feuchtigkeit — die Feststellung der Wasserergiebigkeit durch ein- bis zweitägige Wägung der von dem Bodenzylinder abgegebenen Wassermenge (Abb. 5). Diese wird zu der Gewichtsabnahme eines gleich großen Wasserzylinders unter denselben Bedingungen in Beziehung gesetzt. Im Vergleich dazu ergibt der zunehmende Wasserverlust des Bodens eine Kurve, die es gestattet, die Ergiebigkeit bei jedem Wassergehalt abzulesen. Gleichzeitig kann aus dem Verlauf der Kurve sowie aus Beobachtung der Austrocknung der Bodenoberfläche der kritische Wassergehalt und die für das Verhalten des betr. Bodens charakteristische Wasserergiebigkeit knapp oberhalb des kritischen Wassergehaltes ermittelt werden. Die Wasserabgabe wird solange kontrolliert, bis eine annähernde Gewichtskonstanz eintritt, was je nach der Bodenart unter den vorliegenden Bedingungen in der Regel bis zu 40 Tagen dauert.

Diese Bestimmungsmethoden sind dem Prinzip nach von Gradmann (30) ausgearbeitet und von Sekera (12, 31) übernommen und verfeinert worden. Die vorliegende Art der Untersuchung unterscheidet sich von diesen jedoch

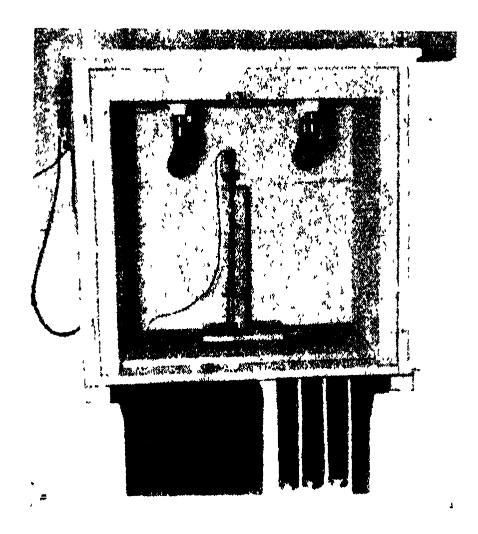


Abbildung 6.
Heißschrank zur Untersuchung der Verdunstung an den Bodenzylindern. (Zur besseren Übersicht sind die zur Abschirmung der Glühlampen dienenden Lochplatten fortgelassen.)

dadurch, daß die Bestimmung nicht an künstlich eingefüllten, völlig veränderten, sondern an strukturgemäß entnommenen Bodenproben stattfindet, von denen überdies bereits eine größere Anzahl anderer physikalischer Eigenschaften vergleichbar ist und zu der Wasserergiebigkeit in Beziehung gesetzt werden kann. Im übrigen handelt es sich aber bei dieser Art der Untersuchung um ein rein konventionelles Verfahren, das zwar für eine Gegenüberstellung von Bodenproben sehr brauchbare Vergleichswerte ergibt; von einer Verdunstung, ähnlich der, wie sie in der freien Natur stattfindet, kann allerdings bei dieser Bestimmung nicht die Rede sein. Während bei dem vorstehenden Untersuchungsverfahren die gesamte Bodenprobe eine, wenn auch geringe, Erwärmung erfährt, wirkt bei der natürlichen Verdunstung die Wärme lediglich auf die oberste Bodenschicht ein.

Da die der Natur nachgeahmte Verdunstung ihrerseits wichtige Rückschlüsse für die Beschaffenheit und das Verhalten der

Bodenoberfläche geben konnte, wurde für diese Bestimmung ein besonderer Verdunstungsschrank (Abb. 6) hergestellt. Dieser ist ein Thermostat, dessen Wände aus Holz sind und eventuell noch durch besondere, unter Pappeplatten angebrachte Strohschichten isoliert werden können. Der Wärmeerzeugung dienen zwei an der Innenseite der oberen Deckplatte befestigte elektrische Kohlefadenbirnen. Diese werden durch zwei durchlöcherte Pappeplatten abgeschirmt, deren Öffnungen gegeneinander verschoben sind, so daß eine direkte Einstrahlung von Licht und Wärme vermieden und ein besserer Temperaturausgleich gewährleistet wird. Die Regulierung der Wärme erfolgte durch ein „Vertex"-Kontakt-Thermometer, das über ein Relais die Glühlampen einschaltet oder zum Verlöschen bringt. In dem Boden des Verdunstungsschrankes befinden sich kreisrunde, dem Durchmesser der Entnahmezylinder entsprechende Ausschnitte. Durch diese werden die wassergesättigten Bodenzylinder eingeführt. Während sich nun der größte Teil der Bodenprobe außerhalb des Verdunstungsschrankes befindet, wirkt die Wärme lediglich auf die Bodenoberfläche ein. Stündliche Wägungen ergeben den zeitlichen Verlauf der Verdunstung, der zur Verdunstung einer gleich großen Wasseroberfläche in Beziehung gesetzt wird. Bei diesem Untersuchungsverfahren besteht außerdem auch die Möglichkeit, die Wasserdynamik in dem Zusammenwirken mehrerer Profilstufen zu untersuchen. Durch Klebstreifen (Lassoband) oder Gummiringe werden mehrere zusammengehörende Zylinder der obersten Profilschichten übereinander befestigt und dann die Oberfläche der Verdunstung im Verdunstungsschrank ausgesetzt. Durch zeitliche Wägungen der einzelnen getrennten Zylinder erhält man auf diese Weise einen wertvollen, vergleichsmäßigen Einblick in die Wassernachlieferung der tiefer entnommenen Schichten an die Oberfläche des Bodens.

Nach dieser Untersuchung erfolgt abermals eine völlige, schonende Trocknung der Bodenzylinder und, zur Feststellung etwaiger Verluste, nochmals eine Bestimmung des Gesamttrockengewichtes.

Auf die Zylinder mit dem Trockenboden werden anschließend wiederum Glaszylinder (s. o.) aufgesetzt und in entsprechender Weise, wie die Durchlässigkeit bei wassergesättigtem Boden, wird nunmehr die Sickergeschwindigkeit bei trockenem Boden ermittelt, d. h. es wird die Zeit gemessen, die vom Überschichten des Bodens mit ungefähr 50 ccm Wasser bis zur Durchfeuchtung der unteren Bodenfläche verstreicht.

Hierbei bleibt zu bedenken (32), daß für die Geschwindigkeit des Einsickerns weniger die Durchlassigkeit als vielmehr die Saugkraft des Bodens verantwortlich zu machen ist. Da die Bestimmungen jedoch weniger auf die Erfassung absoluter Werte als vielmehr auf eine vergleichende Gegenüberstellung des Verhaltens verschiedener Böden hinzielen, ist dies nur von untergeordneter Bedeutung.

Bereits aus dieser Bestimmung läßt sich rückschließen, ob die Trocknung schonend genug erfolgte, oder ob sonstige Ver-

änderungen am Boden während des Untersuchungsganges eingetreten sind. Sofern sich jedoch auffällige Unregelmäßigkeiten wie Durchlaufen des Wassers an der Zylinderwand infolge Schrumpfung der Bodenfüllung oder Ausbleiben jeglicher Durchfeuchtung nicht bemerkbar machen, wird im Anschluß daran durch Einstellen in das „Vollsättigungsgefäß“ der Zylinder wiederum mit Wasser abgesättigt und nunmehr ein zweites Mal der Filtrationswiderstand (Durchlauf II) ermittelt. Dieser bietet eine besonders gute Möglichkeit, durch Vergleich mit den ersten Bestimmungen eventuell eingetretene Veränderungen zu erkennen und die ersten Bestimmungen zu sichern.

Damit ist nun der eigentliche mit den Zylindern durchgeführte Arbeitsgang in seinem gewöhnlichen Verlauf beendet.

Wohl kann je nach dem Untersuchungszweck und unter Berücksichtigung der Verschiedenartigkeit der Böden in dem einen oder anderen Falle eine Umstellung oder geringfügige Abwandlung einzelner physikalischer Bestimmungen vorteilhaft sein. Vorstehende Anordnung des Arbeitsganges erwies sich jedoch bei unseren Untersuchungen im allgemeinen als recht zweckmäßig.

Im Anschluß an die Ermittlung der Sickergeschwindigkeit und die Wiederholungsbestimmung des Filtrationswiderstandes (Durchlauf II) werden die Zylinder entleert und, was wichtig erscheint, auf gleichmäßige Lagerung und Durchfeuchtung sowie auf den Gehalt an größeren Steinen oder Pflanzenteilen geprüft. Der Boden wird dann an der Luft getrocknet und kann noch zu Bestimmungen des kapillaren Aufstiegs, der Durchlässigkeit usw. in veränderter Lagerung verwendet werden.

Bestimmungen am Boden in veränderter Lagerung.

Gleichzeitig mit den Zylinderentnahmen wurde der beim Vergrößern des Bohrloches durch das Bohrgerät herausgefräste, den Zylinderproben unmittelbar benachbarte Boden (14) zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften, die auch von dem in seiner Lagerung veränderten Boden, für einige Zeit wenigstens, beibehalten werden, verwendet. Obwohl diese Bestimmungen zu dem eigentlichen Arbeitsgang an den Zylinderproben nicht unmittelbar gehören, sollen sie wenigstens kurz erwähnt werden.

Von einer exakten Bestimmung der Korngrößen nahmen wir Abstand.

Es befinden sich im natürlichen, landwirtschaftlich genutzten Boden die Teilchen nur selten im Einzelkornzustand. Seine physikalischen Eigenschaften werden somit durch die Einzelkorngrößen nur wenig beeinflußt.

Da für unsere Untersuchungen das Verhalten des Bodens weit wichtiger erschien, als eine immerhin recht zeitraubende konventionelle Charakterisierung der Bodenart, so begnügten wir uns für gewöhnlich mit einer subjektiven Bonitierung und bestimmten zur Ergänzung derselben lediglich die Gesamtheit der abschlämmbaren Teile, wobei wir uns aber bewußt sein müssen, daß die mechanische Bodenanalyse selbst für eine Definierung der Bodenart einen sicheren Anhalt nicht immer zu geben vermag (33, 34).

Auch die Bestimmung des sogenannten Strukturfaktors nach Vageler-Alten (35) unter Verwendung der Schlämmanalyse zur Erfassung der Beständigkeit der Struktur erschien uns nicht immer zuverlässig und dabei für unseren Zweck zu umständlich. Deshalb ermittelten wir an dem Feinboden unserer Profilproben den sogenannten Schwellenwert der Struktur nach Sekera (36), der ebenso aufschlußreich und dabei wegen der Einfachheit der Bestimmung für Serienuntersuchungen geeigneter erschien.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts und des Volumens der festen Bodenteilchen führten wir nach der Pyknometermethode durch. Je 4 Durchschnittsproben des Naturbodens wurden direkt in das Pyknometer eingefüllt. Die Luft wurde aus dem Boden und dem portionsweise zugegebenen Wasser durch Evakuieren unter wiederholtem Aufstoßen des als Rezipient für eine Serie von Pyknometerkolben dienenden Exsikkatorgefäßes ausgetrieben. Nach der Wägung des Pyknometers + Boden + Wasser erfolgte noch im Pyknometer die Trocknung und die Bestimmung des Trockengewichtes des benutzten Bodens.

Gegenüber den anfänglich von uns benutzten Methoden nach Kopecky (37) und Nitzsch (17), bei welchen die Luft zunächst durch Kochen des Bodens in einem Schälchen ausgetrieben und dann erst der Boden quantitativ in das Pyknometer gefüllt wird, erhielten wir durch das Evakuieren eine wesentlich bessere Übereinstimmung der Parallelen, was auf die bessere Entlüftung, auf die Vermeidung von Fehlerquellen durch das quantitative Überspülen sowie auf die Vermeidung einer evtl. Veränderung des Bodens zurückzuführen sein wird.

Die Entlüftung durch alleiniges Aufstoßen oder Klopfen nach Apsits (38) erwies sich als völlig unzureichend.

Weiterhin wurde als Vergleichswert die Hygroskopizität des Bodens gegenüber 10%iger und 50%iger Schwefelsäure nach Mitscherlich (23) bestimmt.

Bei einer Anzahl von Böden errechneten wir schließlich noch die Menge des organischen Gesamtkohlenstoffs aus dem Glühverlust und ermittelten die humifizierte Substanz nach Springer (39).

Prüfung und Anwendung des Arbeitsganges.

Es wurde schon a. a. O. darauf hingewiesen, daß sich bei den Untersuchungen an Zylinderproben zwar die wahre Größe der physikalischen Bodeneigenschaften nicht ermitteln läßt, wohl aber können, das zeigen für die Durchlässigkeit bereits die Untersuchungen von Hissink und Hooghoudt (40), Übereinstimmungen sowie Unterschiede im Verhalten der einzelnen Bodenproben, auch wenn sie äußerlich nicht erkennbar sind, mit der Untersuchung an strukturgemäß entnommenen Bodenzylindern mindestens sicherer vergleichend erfaßt werden, als es bei der Untersuchung des in seiner Lagerung veränderten Bodens möglich ist. Vorgenannte weisen aber schon auf die Schwierigkeit hin, bei mehreren nebeneinander durchgeführten Entnahmen die gleichen Werte zu erzielen und auf diese Weise die Brauchbarkeit der Zylindermethode unter Beweis zu stellen. Wir fanden bestätigt, daß man bei Paralleluntersuchungen mehr oder weniger für alle physikalischen Eigenschaften, besonders häufig in der Krume, ganz verschiedene Vergleichswerte erhalten kann. Wir glauben aber darin keinen Nachteil erblicken zu müssen. Im Gegenteil erscheint uns gerade das verschiedene physikalische Verhalten ein Beweis für die Empfindlichkeit des Arbeitsganges zu sein. Insbesondere

Tabelle 1. Die Untersuchungsergebnisse der

Stufe	Tiefe	Bodenschichtung	Bonitierte Bodenart	Abschlämmbare Teile in Gew.-% Trockenboden	Spezifisches Gewicht	Kapillare Wasseraufnahme, ccm in Gewichts-% Trockenboden nach Stunden						Kleinste Wasserkapazität i. Gew.-% Trockenboden	Große Wasserkapazität i. Gew.-% Trockenboden
						1	2	3½	6	1 24	3×24		
												Entnahme 13.	
I	0—10		hS	15,5	2,553	9,9	15,3	18,7	22,0	24,1	26,4	28,1	33,4
II	10—20		hS	18,5	2,600	8,2	12,8	16,0	18,8	22,9	23,9	25,6	30,6
III	20—30		hS	13,2	2,595	8,9	15,8	18,3	20,8	22,3	24,0	25,0	26,7
IV	30—40		S	11,6	2,615	9,8	12,4	14,5	16,1	17,1	18,2	19,7	22,0
V	40—50		S	14,2	2,649	10,0	10,7	10,9	11,0	11,4	12,0	12,7	15,4
VI	50—60		ťS	32,3	2,654	11,7	12,2	12,5	12,7	13,1	13,6	14,6	15,5
VII	60—70		ťS	29,0	2,659	13,9	14,1	14,2	14,4	14,9	15,9	16,4	17,1
												Entnahme 14.	
I	0—10		hS	12,3	2,564	7,9	12,5	18,5	23,4	23,6	25,2	27,5	30,8
II	10—20		hS	17,7	2,591	7,8	13,4	16,2	18,0	21,2	24,1	26,8	35,0
III	20—30		hS	15,6	2,607	9,6	14,5	18,1	21,6	22,0	24,4	25,5	29,6
IV	30 40		S	10,5	2,613	9,4	11,9	14,5	15,9	17,4	18,5	19,9	24,1
V	40—50		S	19,9	2,645	10,2	10,9	11,2	11,3	11,5	11,8	12,4	15,8
VI	50 -60		ťS	25,5	2,650	11,0	12,4	12,6	12,9	13,0	13,5	14,5	15,0
VII	60 70		ťS	30,1	2,654	13,5	13,9	14,3	14,5	14,8	15,7	16,6	18,6

Tabelle 2. Untersuchungsergebnisse der

Stufe	Tiefe	Bodenschichtung	Bonitierte Bodenart	Abschlämmbare Teile	Spezifisches Gewicht	1	2	3½	6	1 24	3×24	Kleinste Wasserkapazität	Große Wasserkapazität
												Entnahme 78	
I	0—10		ȟS	22,4	2,630	3,0	4,1	4,6	5,7	7,5	8,4	9,6	15,4
II	10—20		ȟS/lS	27,8	2,629	5,2	7,1	8,2	9,7	12,8	13,8	14,9	24,7
III	20—30		lS	26,5	2,642	8,6	9,3	9,8	10,8	12,1	12,6	13,1	19,3
IV	30—40		lS	21,2	2,646	13,6	13,8	13,9	14,0	14,2	14,8	15,3	17,7
V	40—50		lS	25,9	2,647	9,0	12,2	14,0	14,2	14,8	15,2	15,6	18,7
VI	50 - 60		lS/L	32,1	2,659	6,1	8,0	10,0	12,2	13,4	14,0	14,4	16,9
VII	60—70		L	39,8	2,669	4,2	6,2	8,0	10,7	12,3	12,8	13,4	15,6
												Entnahme 79.	
I	0—10		ȟS	20,1	2,627	3,6	4,5	5,0	5,8	7,0	8,8	9,9	17,7
II	10—20		ȟS/lS	31,4	2,633	6,7	7,8	8,9	10,9	12,2	12,9	14,1	23,2
III	20—30		lS	24,7	2,645	8,2	9,2	10,0	10,9	12,5	12,9	13,3	21,6
IV	30—40		lS	28,8	2,647	12,9	13,6	13,8	13,9	14,5	14,8	14,9	16,1
V	40—50		lS	24,5	2,654	9,9	13,1	13,8	14,0	14,6	14,9	15,4	18,2
VI	50—60		lS/L	29,7	2,663	5,9	7,7	10,6	12,7	13,6	14,3	14,6	17,3
VII	60—70		L	36,0	2,674	4,1	6,5	7,8	11,0	12,6	12,8	13,0	14,9

Zylinder-Entnahmen 13/14 des Profils A.

Wasserabgabe bei 22°, 60% relativer Luftfeuchtigkeit, ccm in Gewichts-% große Wasserkapazitat nach Tagen								Aufstieggeschwindigkeit	Durchlauf I	Durchlauf II	Durchlauf in veränderter Lagerung
2	4	7	•9	12	17	24	31	100 mm	von 20 ccm	von 20 ccm	von 20 ccm
5,9	11,2	22,6	31,1	40,8	56,7	66,1	71,9	7–22 Std.	7′ 15″	6′ 30″	8′ 25″
4,7	10,1	19,0	25,4	32,8	49,1	65,7	70,8	7–22 Std.	5′ 20″	5′ 55″	12′ 10″
5,7	14,2	27,0	36,0	43,9	52,0	65,2	69,4	7–22 Std.	6′ 50″	6′ 10″	8′ 20″
13,1	23,3	40,8	53,3	66,5	85,2	92,3	95,2	4 Std. 49′	1′ 00″	1′ 05″	1′ 40″
10,8	22,6	44,9	62,8	79,6	87,2	91,4	93,1	1 Std. 58′	1′ 30″	1′ 20′	2′ 50″
10,8	23,9	46,3	66,6	84,6	87,3	89,5	91,[illegible]	59′	3′ 10″	2′ 55″	5′ 00″
12,2	25,7	48,6	67,8	82,3	84,8	86,7	88,9	44′	3′ 25′	3′ 45″	8′ 05″
5,1	10,5	21,9	32,6	39,4	57,3	66,8	71,2	7 22 Std	6′ 00″	6′ 45″	9′ 15″
3,9	8,9	17,4	25,8	31,1	45,3	65,8	69,9	7–22 Std.	5′ 35″	5′ 00″	8′ 45″
4,9	15,3	26,3	35,6	44,2	54,8	66,1	70,9	7–22 Std.	6′ 35″	6′ 00″	7′ 55″
13,8	24,0	41,6	52,8	66,1	84,2	91,6	94,4	4 Std. 30′	1′ 10″	1′ 00″	1′ 50″
11,2	22,1	44,4	62,3	80,0	86,9	90,9	93,8	2 Std. 12′	1′ 25″	1′ 15″	2′ 10″
10,4	24,8	47,8	67,7	85,0	87,6	89,1	90,9	53′	3′ 15″	3′ 00″	7′ 45″
12,5	25,1	48,1	67,5	81,9	84,3	87,0	89,4	51′	3′ 30′	3′ 05″	9′ 35″

Zylinder-Entnahmen 78/76 des Profils B.

2,4	11,5	24,2	34,2	46,2	69,1	87,4	92,2	96–100 Std.	2′ 55″	3′ 40″	7′ 40″
5,8	16,1	30,0	41,6	58,2	81,1	90,3	90,7	7–22 Std.	4′ 00″	3′ 25″	10′ 05″
9,2	20,2	37,2	59,9	70,1	79,2	89,8	95,4	2 Std. 10′	15′ 00″	14′ 20″	16′ 05″
12,9	26,1	46,9	71,5	81,9	89,2	93,1	95,4	56′	16′ 55″	16′ 25″	23′ 25″
9,9	26,2	47,7	75,6	83,8	91,5	95,7	97,9	1 Std. 40′	18′ 10″	18′ 00″	22′ 40″
15,3	27,2	48,1	61,9	79,6	85,9	89,6	93,1	3 Std. 05′	58′ 30″	57′ 50″	1 Std. 03′
14,5	28,9	53,2	71,7	77,3	81,5	85,4	88,1	5 Std. 15′	1 Std. 00′	56′ 00″	1 Std. 12′ 25″
3,2	12,3	24,6	34,5	46,9	68,2	88,0	92,9	96–120 Std.	3′ 20″	2′ 50″	6′ 15″
5,0	15,5	30,9	42,4	56,2	82,5	90,9	91,6	7–22 Std.	3′ 10″	3′ 55″	5′ 50″
9,7	20,0	36,8	60,6	70,9	78,4	89,1	93,2	2 Std. 40′	14′ 35″	15′ 15″	19′ 25″
12,1	25,3	48,0	72,6	83,3	89,5	93,6	96,3	38′	17′ 30″	16′ 40″	25′ 10″
9,0	25,0	47,1	73,9	83,5	89,8	95,2	97,4	1 Std. 20′	19′ 00″	18′ 30″	19′ 20″
14,8	27,6	48,0	62,6	80,9	85,7	89,5	92,4	3 Std. 35′	57′ 00″	55′ 30″	1 Std. 30′
14,1	29,3	52,9	71,5	77,7	81,3	85,1	87,9	5 Std. 55′	1 Std. 12′	1 Std. 00′	2 Std. 15′

bei dem landwirtschaftlich genutzten Boden können infolge der Bestellungs-, Düngungs- und Pflegemaßnahmen die bodenphysikalischen Eigenschaften auf geringe Entfernung sehr verschieden sein. Eine Gleichheit der Bodenphysik auf größerem Abstand ist somit lediglich mehr oder weniger als ein Zufall zu werten. Abgesehen davon werden bei mehreren Entnahmen dicht nebeneinander häufig Veränderungen in der Lagerung eintreten, so daß selbst dann, wenn die physikalischen Bodeneigenschaften in einem engeren Umkreis ähnlich sein sollten, sie bei der Untersuchung mehrerer dicht nebeneinander entnommener Zylinderserien dennoch verschieden erscheinen würden. Nur bei größter Vorsicht lassen sich derartige Störungen vermeiden. Dafür geben die folgenden, aus der Vielzahl des Materials ausgewählten Paralleluntersuchungen an zwei verschiedenen Profilen ein Beispiel. Sie sollen gleichzeitig dazu dienen, die Anwendung des Arbeitsganges und seine Brauchbarkeit zu zeigen.

Das Profil „A", aus dem die Entnahmen 13/14 erfolgten, besitzt eine 30 cm starke Krume aus humosem Sand. Darunter folgt, deutlich abgesetzt, in einer Tiefe von 30—50 cm reiner Sand, der von 50 cm ab schwach tonhaltig wird. Das Profil „B" (Entnahmen 78/79) zeigt lediglich eine 15 cm starke Krume aus nur schwach humosem Sand. Darunter lagert von 15 cm bis 55 cm ein lehmiger Sand. Dann folgt Lehm. Auch in diesem Falle heben sich die einzelnen Horizonte sichtbar voneinander ab. Aus beiden Profilen sind je zwei Zylinderserien (13/14 und 78/79) in einem gegenseitigen Abstand von — Mitte zu Mitte des Bohrloches gemessen — 35 cm entnommen. Die einander entsprechenden Zylinder innerhalb der beiden Serienpaare entstammen derselben Tiefe, enthalten dieselbe Bodenschicht und gleichen äußerlich einander völlig.

Die Tabellen 1 und 2 geben nun einen Ausschnitt aus den Untersuchungsergebnissen der einzelnen Bodenzylinder wieder. Den Vergleichswerten des fortlaufenden Arbeitsganges ist jeweils das Schema von dem Profilaufbau sowie die bonitierte Bodenart, die Gesamtheit der abschlämmbaren Teile in Gewichtsprozent Trockenboden und das spezifische Gewicht vorangestellt.

Bereits bei einem Vergleich innerhalb einer Zylinderserie erkennt man, daß die Werte für die Gesamtheit der abschlämmbaren Teilchen eine recht große Streuung aufweisen können und sich oftmals bei derselben Bodenart erheblich mehr unterscheiden, als es unter verschiedenen Bodenarten der Fall ist. Noch deutlicher wird dies bei einem Vergleich der einander entsprechenden Proben aus gleicher Tiefe und Schicht in den beiden einander entsprechenden Zylinderserien, oder noch mehr bei der Gegenüberstellung der beiden bereits äußerlich verschiedenen Beispielprofile. Rückschlüsse aus der Schlämmanalyse auf die Bodenart sind demnach, wie bei der Beschreibung der Methodik bereits betont, nur mit Vorsicht möglich.

Geeigneter könnten die Werte für das spezifische Gewicht erscheinen, obwohl diese wiederum zu wenig voneinander abweichen, um die subjektive Bonitierung der verschiedenen Bodenarten in jedem Falle zu sichern. Wesentlich für den Zweck unserer Untersuchungen ist aber, daß beide Bestimmungen kaum

einen verwertbaren Hinweis auf das physikalische Verhalten der betreffenden Bodenprobe geben.

Betrachten wir nunmehr die kapillare Wasseraufnahme, die Wasserabgabe und die Durchlässigkeit der einzelnen strukturgemäß entnommenen Bodenzylinder, so zeigen die in den Tabellen zum Vergleich herangezogenen Untersuchungsergebnisse, daß diese sich für jede Bodenschicht in einer charakteristischen Größenordnung bewegen. Bereits innerhalb einer Serie unterscheiden sich die einzelnen im Verbande der natürlichen Lagerung nahe benachbarten Profilstufen sowohl in den erreichten Sättigungsgraden, wie vor allem in dem zeitlichen Verlauf der Wasseraufnahme und -abgabe zum Teil sehr erheblich. Zwar war eine Beschränkung der wirklich ermittelten Werte insbesondere bei der Wiedergabe des Wasserverlustes im Warmraum notwendig. Die Bodenproben der verschiedenen Profilstufen nehmen zu ganz verschiedenen Zeiten die sie besonders auszeichnenden Werte an, so daß eine Darstellung in einer gemeinsamen Tabelle einige Schwierigkeiten bereitet. Obwohl demgemäß auf die Darstellung des „kritischen Wassergehaltes“ und der „Wasserabgabe knapp oberhalb des kritischen Wassergehaltes“ verzichtet und die Wiedergabe auf wenige Untersuchungszahlen zusammengefaßt werden mußte, nehmen die Auswahlwerte auch für die abgegebene Wassermenge einen für jede Bodenprobe eigenen Verlauf.

Vor allem wird das besondere physikalische Verhalten jeder Bodenprobe deutlich aus der kurvenmäßigen Darstellung (Tabelle 3 und 4) der Versuchsergebnisse. Auf der Horizontalen ist jeweils der Zeitpunkt der einzelnen Bestimmungen in Stunden bzw. Tagen aufgezeichnet, auf der Vertikalen sind für die kapillare Wasseraufnahme die Kubikzentimeter in Gewichtsprozent Trockenboden, für die Wasserabgabe die Kubikzentimeter in Gewichtsprozent der großen Wasserkapazität aufgetragen. Bereits ein allgemeiner Vergleich der beiden verschiedenen Profile zeigt, daß die Kurven der Bodenproben gleicher Entnahmetiefe einen ganz verschiedenen Verlauf nehmen. Ohne Kenntnis der in diesem Falle äußerlich feststellbaren Unterschiede beider Profile könnte man zweifellos allein aus den Kurvenbildern darauf schließen, daß es sich um zwei Beispiele handelt, die sich zum mindesten hinsichtlich der Wasserdynamik ganz verschieden verhalten.

Weiterhin ergibt sich aus dem allgemeinen Kurvenverlauf auf Grund weitgehender Ähnlichkeit ohne weiteres, daß bei dem Profil „A“ (Entnahmen 13/14) die drei Zylinderproben I, II und III zusammengehören. Eine ebensolche Ähnlichkeit läßt sich bei demselben Profil zwischen dem Verhalten der Proben VI und VII feststellen. Bei dem Profil „B“ fallen die Kurven III, IV und V durch ihren gleichartigen Verlauf auf. Dieses dürfte jedoch nicht wundernehmen, da die in ihrem Verhalten gegenüber dem Wasser ähnlichen Bodenproben Schichten gleicher Bodenart



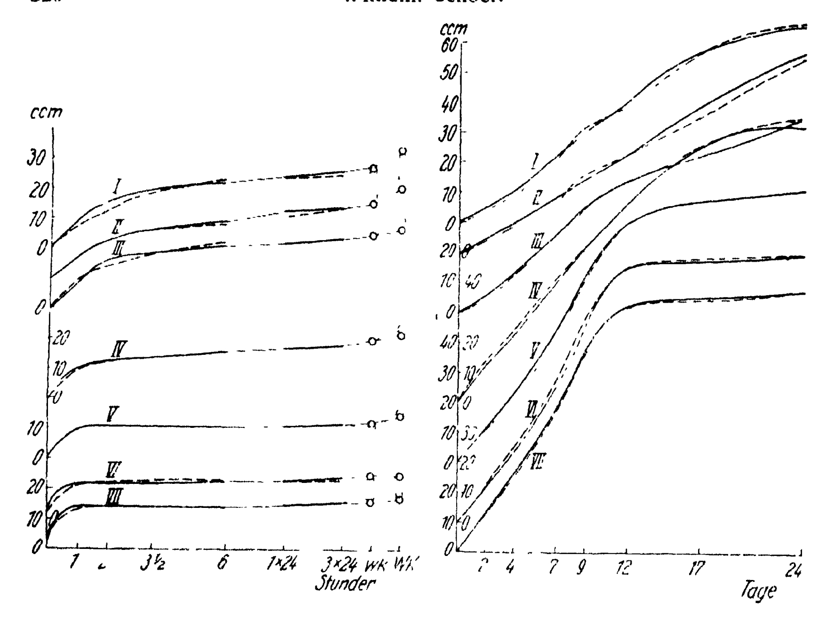


Tabelle 3
Kurvenmäßige Darstellung des kapillaren Wasseraufstiegs und der Wassergabe bei 22°, 60% rel. Luftfeuchtigkeit von den Zylinder-Entnahmen 13/14 des Profils A.

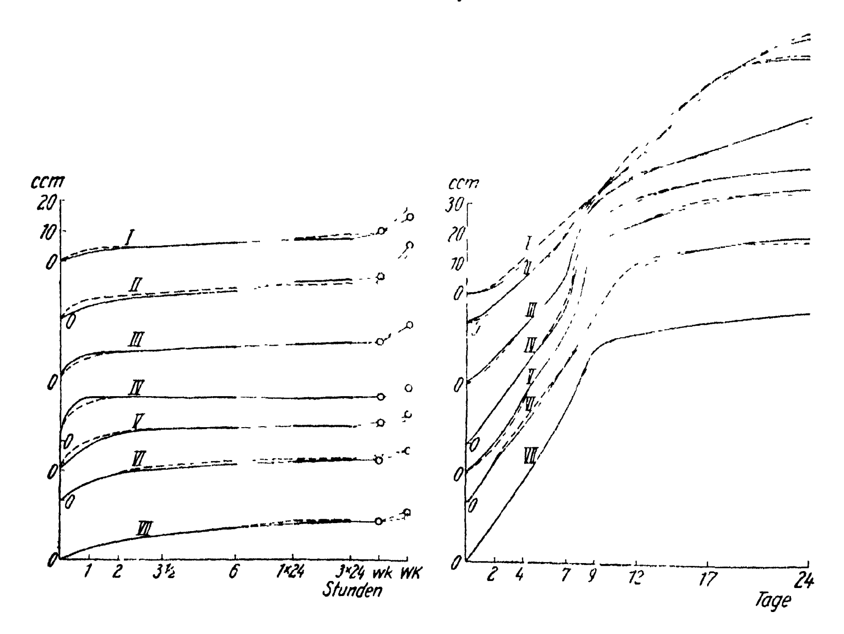


Tabelle 4.
Kurvenmäßige Darstellung des kapillaren Wasseraufstiegs und der Wassergabe bei 22°, 60% rel. Luftfeuchtigkeit von den Zylinder-Entnahmen 78/79 des Profils B.

entstammen. Auch der Kurvenverlauf des Zylinders II und des Zylinders VI im Profil „B“, die jeweils aus den Grenzschichten zweier verschiedener Bodenarten entnommen sind und eine deutliche Übergangstendenz zu dem Kurvenverlauf der in der nächsten Schicht folgenden Bodenart zeigen, entspricht noch einigermaßen den Erwartungen. Auffallend ist hingegen, daß die Proben IV und V des Profils „A“, die hinsichtlich der bonitierten Bodenart, wie in den Werten für die abschlämmbaren Teile, eine mehr oder weniger weitgehende Übereinstimmung aufweisen, trotzdem ein recht unterschiedliches physikalisches Verhalten zeigen. Sowohl für die Wasseraufnahme, wie noch mehr in der Wasserergiebigkeit läßt der Verlauf der Kurven für die Probe V eine Annäherung an die Proben VI und VII erkennen. Daraus ergibt sich die für die Brauchbarkeit des Untersuchungsganges wichtige Feststellung, daß es mit seiner Hilfe gelingt, selbst dann, wenn die Bestimmung der abschlämmbaren Teile und die subjektive Bonitierung Unterschiede im physikalischen Verhalten der Bodenprobe nicht vermuten lassen, diese dennoch durch den Untersuchungsgang deutlich erfaßt werden können.

Als weiteres bleibt nun die Übereinstimmung der Parallelentnahmen festzustellen. Aus der bildlichen Darstellung, bei der jeweils die beiden zueinander gehörigen Kurven (ausgezogen und gestrichelt) mit gleichem Ausgangspunkt (gleiches Koordinatensystem) eingezeichnet wurden, erkennt man, daß erhebliche Abweichungen, die zu Bedenken Anlaß geben könnten, nicht auftreten, vielmehr ergibt sich eine weitgehende Ähnlichkeit der Parallelen. Diese zeigt sich im allgemeinen Kurvenverlauf sowohl bei der Wasseraufnahme wie bei der Wasserabgabe als besonders günstig für die humusfreien, tieferen Bodenschichten. Merkliche Unterschiede treten bei den zum Vergleich herangezogenen Beispielen im großen und ganzen nur in der Krume auf. Aber selbst hier erscheinen sie während der kapillaren Wasseraufnahme einschließlich der „kleinsten Wasserkapazität“ im Vergleich zum allgemeinen, charakteristischen Kurvenverlauf noch gering. Für die „kleinste Wasserkapazität“ ist es sogar bemerkenswert, worauf a. a. O. bereits hingewiesen wurde, wie gut diese Werte übereinstimmen. Lrheblichere Abweichungen treten erst bei der großen Wasserkapazität auf. Jedoch nimmt dies mit Rücksicht auf die verhältnismäßig rohe Bestimmungsmethodik nicht wunder, bedarf indes bei der Bewertung der Untersuchungszahlen der Berücksichtigung. Daß dennoch die Abweichungen bei dem nachfolgend ermittelten Wasserverlust im Warmraum wieder verhältnismäßig gering sind, dürfte auf die Verlangsamung der Wasserabgabe durch die verhältnismäßig niedrige Temperatur und den hohen Feuchtigkeitsgehalt des Raumes (siehe Arbeitsmethodik) erreicht sein. Die gute Übereinstimmung der Parallelen hinsichtlich der abgegebenen Wassermengen, wie auch bei der kapillaren Wasseraufnahme, läßt aber erkennen, daß es mittels des beschriebenen Arbeitsganges mög-

lich ist, bei zwei nebeneinander durchgeführten Entnahmen dasselbe physikalische Verhalten innerhalb der einzelnen Profilstufen nachzuweisen. Damit dürfte nun die zweite, an die Arbeitsmethodik zu stellende Grundforderung erfüllt sein.

Da das ähnliche Verhalten der Parallelproben sowohl bei der kapillaren Wasseraufnahme, wie bei der Wasserabgabe vorhanden ist und Besonderheiten verschiedener Profilstufen während des ganzen Untersuchungsganges erhalten bleiben, läßt sich weiterhin daraus schließen, daß die zu Beginn der Untersuchungen vorhandene Lagerung des Bodens während des Untersuchungsganges weitgehend gewahrt blieb. Diese Feststellung wird weiterhin gestützt durch die während und am Ende des Arbeitsganges vorgenommenen Bestimmungen des Durchlaufs (Durchlauf I und II). Die zwar vorhandenen, je nach der Bodenart ver-

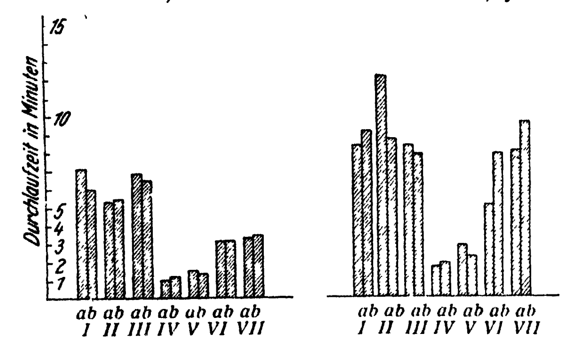


Tabelle 5.
Bildliche Darstellung der Durchlaufgeschwindigkeiten der Zylinderentnahmen 13 (= a) und 14 (= b) in natürlicher und veränderter Lagerung.

schieden großen Abweichungen sind im Verhältnis gering genug, so daß die Annahme gerechtfertigt ist, daß Veränderungen in der Lagerung der Böden während des Untersuchungsganges nicht stattgefunden haben.

Damit dürfte eine weitere, dem Zweck der Untersuchungen entsprechende Forderung erfüllt und die Brauchbarkeit des Arbeitsganges als Vergleichsverfahren erwiesen sein.

In den Tabellen 5 und 6 sind nun die Durchlaufgeschwindigkeiten für die einzelnen Profilstufen in natürlicher Lagerung (Durchlauf von 13 bzw. 78 = a; Durchlauf von 14 bzw. 79 = b) und zum Vergleich daneben die Durchlaufgeschwindigkeiten derselben Bodenproben in veränderter Lagerung bildlich dargestellt. Ein Vergleich der einander entsprechenden Parallelbestimmungen „a“ und „b“, zunächst untereinander, zeigt, daß bei den an strukturgemäßen Bodenzylindern ermittelten Untersuchungsergebnissen auch bei diesem Verfahren eine mehr oder weniger gute Übereinstimmung besteht. Zwar ist die Streuung der Werte teilweise größer als bei anderen Bestimmungen, doch dürfte dies im allgemeinen wieder wie bei der „großen Wasserkapazität“ auf die Methodik zurückgeführt werden können. Bei den an denselben Bodenproben vorgenommenen Untersuchungen in veränderter Lagerung ist die Übereinstimmung der Parallel-

bestimmungen nicht in dem gleichen Maße erhalten geblieben. Eine Gegenüberstellung der Bestimmungen in natürlicher Lagerung zu denen in veränderter Lagerung läßt überdies erkennen, daß bei der Zerstörung der natürlichen Lagerung andere, den an strukturgemäß entnommenen Proben erlangten Ergebnissen häufig kaum mehr entsprechende, Werte erhalten wurden.

Daraus dürfte zunächst hervorgehen, daß das gleichsinnige Verhalten der einander entsprechenden, in natürlicher Lagerung

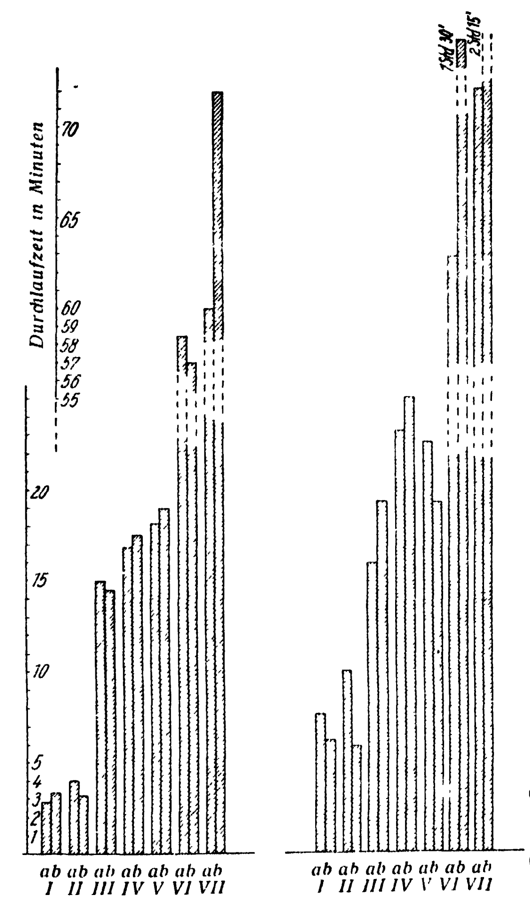


Tabelle 6.
Bildliche Darstellung der Durchlaufgeschwindigkeiten der Zylinder-Entnahmen 78 (= a) und 79 (= b) in natürlicher und veränderter Lagerung.

untersuchten Bodenproben bei den Durchlaufbestimmungen und somit auch während des gesamten Arbeitsganges nicht etwa als eine Folge weitgehender Übereinstimmung in der Korngrößenzusammensetzung anzusehen ist, als vielmehr tatsächlich in der Wahrung der zu Beginn des Arbeitsganges vorhandenen Lagerung begründet liegt. Weiterhin dürfte aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse an unveränderter und veränderter Lagerung wohl hervorgehen, daß es allein bei weitmöglichster Wahrung der

naturgegebenen Struktur gelingt, die Übereinstimmung sowie das Verschiedensein in dem physikalischen Verhalten verschiedener *Bodenproben den natürlichen* Verhältnissen entsprechend, *vergleichend zu erfassen.*

Daß die Voraussetzungen dazu bei dem vorliegenden Arbeitsgang *gegeben sind, darauf* lassen *nicht* nur die angeführten *Beispiele schließen*, sondern dafür sprechen insbesondere auch *die mit dem* Arbeitsgang *im* Zusammenhang mit der Eisenfleckigkeit der Kartoffel und dem Wachstum verschiedener Futterpflanzen *durchgeführten Untersuchungen,* die a. a. O. zur Veröffentlichung gelangen werden.

Schrifttum.

1. Pfeil, E.: Ungünstige Bodenverhältnisse als Ursache für Pflanzenkrankheiten. In Sorauer: Hdb. der Pflanzenkrankheiten, Berlin, 6. Auflage, **1**, 2, 1934, 80–168.
2. Ehrke, G.: Untersuchungen uber die Eisenfleckigkeit der Kartoffel. Biochem. Z., Berlin, **278**, 1935, 195—225.
3. Ehrke, G.: Untersuchungen uber die Stoffwechselvorgänge in eisenfleckigen Kartoffeln. Angew. Bot., Berlin, **17**, 1936, 453–483.
4. Ehrke, G.: Die Eisenfleckigkeit der Kartoffel. Forsch. u. Fortschr., Berlin, **12**, 1936, 24-25.
5. Friedrich, W.: Messungen des Wasserhaushalts im Erdboden. Ebenda, **9**, 1933, 253--254.
6. Freckmann, W., u. H. Janert: Eine für die kulturtechnische Praxis brauchbare Methode zur Bestimmung der Wasserdurchlassigkeit im gewachsenen Boden. Der Kulturtechniker, Breslau, **27**, 1924, 116–122.
7. Freckmann, W., u. H. Baumann: Zu den Grundfragen des Wasserhaushalts im Boden und seiner Erforschung. Bodenkunde u. Pflanzenernahr., Berlin, **2** (**47**), 1936, 127–166.
8. Giesecke, F.: Bodenbeurteilung und Probenahme an Ort und Stelle, sowie die hierfür in Frage kommenden Untersuchungsgerate. In E. Blanck: Handb. d. Bodenlehre, Berlin, **5**, 1930, 190--227.
9. Densch, A.: Der mechanische Aufbau des Bodens. In E. Blanck: Handb. d. Bodenlehre, Berlin, **6**, 1930, 1--65.
10. Lemmermann, O.: Methoden für die Untersuchung des Bodens, 1 u. 3. Beih. z. Z. f. Pflanzenernahr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, 1932/34.
11. Trnka, R.: Eine Studie uber einige physikalische Eigenschaften des Bodens. Intern. Mitt. Bodenkunde, Wien-Berlin, **4**, 1914, 363—387.
12. Sekera, F.: Die nutzbare Wasserkapazität und die Wasserbeweglichkeit im Boden. Z. f. Pflanzenernahr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, **22**, 1931, 87—111. —: Eine neue Methode der Schollenanalyse. Ebenda, B, **7**, 1928, 530—533.
13. Giesecke, F.: a. a. O., S. 221.
14. Hey, A.: Über ein Gerät zur Entnahme von strukturmäßigen Zylinderproben im Bodenprofil. Bodenkundl. Forsch., Berlin, **6**, 1938, 54—64.
15. Engler, A.: Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitt. schweiz. Zentral-Anst. forstl. Versuchswesen, Zürich, **12**, 1919, 1—626.
16. Burger, H.: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. schweiz. Zentral-Anst. forstl. Versuchswesen, Zürich, **13**, 1922, 1—218.
17. Nitzsch, W.: Eine Methode zur physikalischen Untersuchung von Ackerböden in natürlicher Lagerung. Pflanzenbau, Leipzig, **2**, 1925/26, 245—250.
18. Holdack: Neue Anschauungen in der Bodenbearbeitung. Mitt. deutsch. Land., Berlin, **44**, 1929, 191—193.
19. Holdack u. W. Nitzsch: Die Beurteilung des Bearbeitungserfolges auf Ackerboden durch physikalische Bodenuntersuchung. Fortschr. Landw., Wien-Berlin, **5**, 1930, 13–15.

20. Schumacher, W.: Physik des Bodens. Berlin 1930.
21. Wollny, E.: Untersuchungen über die kapillare Leitung des Wassers im Boden. Fortschr. a.d. Geb. der agrikultur. Phys., Heidelberg, **7**, 1884, 69—308.
22. Zunker, F.: Das Verhalten des Bodens zum Wasser. In E. Blanck, Handb. d. Bodenlehre, Berlin, **6**, 1930, 66—220.
23. Mitscherlich, E. A.: Bodenkundliches Praktikum. Berlin 1927.
24. Meyer, Ad.: Über das Verhalten erdartiger Gemische gegen das Wasser. Landw. Jb. Berlin, **3**, 1874, 753—802.
25. Schucht, F.: Grundzüge der Bodenkunde. Berlin, 1930.
26. Kopecky, J.: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Berlin, 1914.
27. Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Berlin, 1927.
28. Kopecky, J.: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, Wien-Berlin, **4**, 1914, 138—180.
29. Zunker, F.: a. a. O. S. 174.
30. Gradmann, H.: Untersuchungen über die Wasserverhältnisse des Bodens als Grundlage des Pflanzenwachstums. I. Jb. wiss. Botanik, Berlin, **69**, 1928, 1—100, u. II. **71**, 1930, 669—782.
31. Sekera, F.: Die Beurteilung der Wasserversorgung als Standortsfaktor. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **A 22**, *1931, 152—190.*
32. Zunker, F.: a. a. O. S. 173.
33. Pfeiffer, K.: *Beiträge zur Frage der mechanischen Bodenanalyse und der Bestimmung der Bodenoberfläche mittels Benetzungswärme und Hygroskopizität.* Landw. Jb., *Berlin,* **41**, *1911, 1—55.*
34. Emmerling, A.: *Agrikulturchemische Untersuchungen, Versuche und Analysen mit besonderer Berücksichtigung Schleswig-Holsteinscher Landesverhältnisse. Festschr. d. agrikult.-chem. Versuchsstation zu Kiel. Dez. 1895.*
35. Vageler, P. u. F. Alten: Die Böden des Nil und Gash. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **21/24**, 1931/32.
36. Sekera, F.: Die Stabilität der Bodenstruktur und ihre Beeinflussung durch Regen und Bewässerung. Ebenda, A, **25/26**, 1932, 297—304.
37. Kopecky, J.: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Intern. Mitt. Bodenkunde, Wien-Berlin, **4**, 1914, 138—180
38. Apsits, J.: Die Dynamik der physikalischen Eigenschaften des Bodens und dessen Fruchtbarkeit. Landw. Jb., Berlin, **78**, 1933, 895—941.
39. Springer, U.: Die Bestimmung der organischen, insbesondere der humifizierten Substanz im Boden. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **11**, 1928, 313—359.
40. Hissink, D. J. u. S. B. Hooghoudt: Untersuchungen über die Wiedergewinnungsmöglichkeit der Durchlässigkeitszahlen nach Kopecky. Proc. u. Pap. 2. Intern. Bodenkdl. Kongr. Leningrad-Moskau 6. Komm. 1932, 38—40. [276]

Vergleich der Bohrer nach Hey, Janert und Mitscherlich zur volumetrischen Entnahme von Bodenproben.

Von **B. Grosse.**
Aus dem Institut für Bodenkunde der Universität Berlin.
Direktor: Prof. Dr. Kuron.
Eingegangen: 16. Januar 1939.

Mit Unterstützung des Forschungsdienstes wurden im Jahre 1938 umfangreiche Bodenlagerungs- und Bodenfeuchtigkeitsuntersuchungen durchgeführt, wobei sich die Gelegenheit ergab, die Arbeitsweise von einigen im Handel befindlichen alten und neuen volumetrischen Bohrgeräten zu überprüfen. Mit Rücksicht auf pflanzenphysiologische Auswertungen wird bei Bodenfeuchtigkeitsbestimmungen die Umrechnung auf die Volumeneinheit des Bodens immer wieder gefordert. Da es sich bei diesen Versuchen stets um eine lange Folge von Bestimmungen handelt, ist die Anwendung eines möglichst genau arbeitenden volumetrischen Bohrgerätes ein dringendes Erfordernis. An Hand von umfangreichem Untersuchungsmaterial soll festgestellt werden, inwieweit die verschiedenen Bohrgeräte diesen Anforderungen gerecht werden.

Benutzte Bohrgeräte.

Für die Probenentnahme fanden 4 verschiedene Bohrgeräte Verwendung. Wir benutzten zunächst den ersten Bohrer von Mitscherlich (1) (Mitscherlich-Bohrer Nr. 1) sowie die Anfang 1938 völlig umgeänderte Ausführung (Mitscherlich-Bohrer Nr. 2). Dieser neueste Bohrer von Mitscherlich besitzt an Stelle des Bohrlöffels senkrechte Schneiden, deren Schärfe nach innen gerichtet ist. Um ein gleichmäßiges Bohren zu erzielen, ist am Bohrkopf außen ein Schneckengang angebracht. Der innere Durchmesser der Schärfen beträgt 3,568 cm, entspricht also 10 cm², folglich müßte der Bohrer bei 10 cm Tiefenbohrung = 100 ccm entnehmen. Ferner wurde für Vergleichsbohrungen der volumetrische Bohrer nach Janert (2) herangezogen, der bei 10 cm Tiefeneinstellung das Volumen von 90,79 ccm erbohren soll, wobei hier bei den folgenden Vergleichen eine Umrechnung auf 100 ccm erfolgte.

Außerdem bot sich Gelegenheit, das neue Bohrgerät von Hey (3) zu erproben. Dieses Gerät stellt eine Kombination der Bohr- und Zylindermethode dar und entnimmt dem Boden etwa 179,3 ccm. Die Bodenmengen wurden ebenfalls auf 100 ccm umgerechnet, um die Ergebnisse denen der anderen Methoden gegenüberstellen zu können[1]).

Für die oberste Bodenschicht 0—10 cm wurde noch ein 100-ccm-Stahlrohr von 10 cm Höhe verwendet, da es sich herausgestellt hatte, daß sowohl der Janert-Bohrer als auch die Mitscherlich-Bohrer in diesem Horizont die größte Ungenauigkeit zeigen.

Den mit Hilfe von Bohrern erzielten Volumenwerten wurden die Mittelwerte nach der Methode Nitzsch gegenübergestellt. Um eine genaue Entnahme durchführen zu können, wurden Profilgruben ausgehoben und mit 3

[1]) Der Bohrer nach Hey wurde von der Fa. Bergmann & Altmann K.-G., Berlin, für Versuchsbohrungen überlassen. Der Janert-Bohrer wurde uns freundlicherweise vom Institut für Kulturtechnik der Univ. Berlin zur Verfügung gestellt.

bis 7 Parallelen die genau 100 ccm fassenden Stahlzylinder senkrecht in den Boden gebracht. Der Boden wurde mit den etwa 4 cm hohen Zylindern stets aus der Mitte des jeweiligen 10-cm-Horizontes entnommen.

Sämtliche Proben wurden gewichtsmäßig verglichen, und die Gesamtprobe bezieht sich auf absolut trockenen Boden.

Durchführung der Bohrungen.

Da nach unseren Erfahrungen die Arbeitsweise der einzelnen Bohrgeräte in verschiedenen Böden sehr unterschiedlich ist, waren wir bestrebt, die Bohrungen möglichst unter verschiedenen Bodenverhältnissen durchzuführen. Die Bohrungen selbst erfolgten stets unter Aufsicht eines Mitarbeiters des Instituts, so daß die sachgemäße Ausführung der Bohrungen gewährleistet war. Es standen in folgenden Orten einige Teilstücke zur Verfugung:

1. Beelitz (Mark), Sandboden (Diluvialer Talsand). 2. Biesdorf, sandiger, kalkhaltiger Lehm und lehmiger Sand. 3. Gransee, Sand bis sandiger Lehm. 4. Dahlem, lehmiger Sand.

I. Probenentnahme im Beelitzer Sandboden.

1. Entnahme nach der Methode Nitzsch.

Tabelle 1 gibt den Gehalt an fester Bodensubstanz im 100-ccm-Zylinder, ausgedrückt in Gramm absolut trockenen Bodens, wieder. Die drei Entnahmen verteilen sich auf die Zeit von Juni bis September. Es fällt bei allen drei Entnahmen innerhalb der 5 bis 7 Parallelen die verhältnismäßig geringe Standardabweichung auf. Allgemein zeigt sich bei dem Horizont 0—10 cm eine etwas

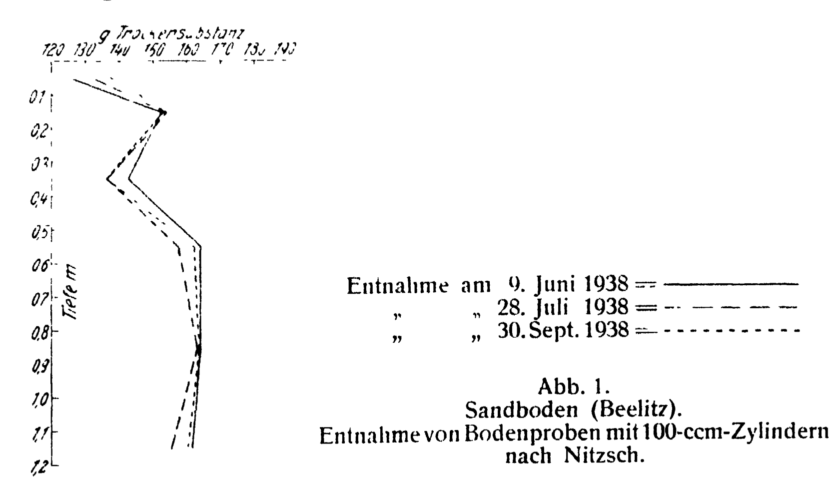


Abb. 1.
Sandboden (Beelitz).
Entnahme von Bodenproben mit 100-ccm-Zylindern nach Nitzsch.

größere Abweichung, die anscheinend durch die größere Kompressionsmöglichkeit sowie durch den dem obersten Horizont eigenen Wechsel in der Lagerung bedingt ist. Bei den arithmetischen Mittelwerten der absoluten Trockensubstanzen fällt stets der Horizont von 10—20 cm heraus. Diese Erscheinung soll in einer späteren Arbeit behandelt werden. Die graphische Darstellung 1 läßt zu allen drei Entnahmezeiten die gleiche Tendenz in der Veränderung der Werte mit der Tiefe erkennen. Vielfach liegen die Trockensubstanzwerte ganz dicht zusammen. Soweit Ab-

Tabelle 1.
Probenentnahme nach Nitzsch in Beelitz.

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %
Entnahme am 9. Juni 1938.				
0—10	126,03	5	7,82	6,20
10—20	152,60	5	1,28	0,84
30—40	142,77	5	6,67	4,67
50—60	164,19	5	3,20	1,95
80—90	164,27	5	3,32	2,02
110—120	161,50	5	2,32	1,44
Entnahme am 28. Juli 1938.				
0—1	132,81	6	7,00	5,27
10—20	154,01	7	5,27	3,42
30—40	136,57	7	5,20	3,81
50—60	157,69	7	4,61	2,92
80—90	163,16	6	2,92	1,79
110—120	155,55	6	2,85	1,83
Entnahme am 30. September 1938.				
0—10	137,17	6	2,86	2,09
10—20	153,39	5	1,51	0,98
30—40	136,23	5	2,03	1,49
50—60	162,18	6	3,89	2,40
80—90	163,95	5	3,18	1,94
110—120	160,45	6	3,90	2,43

Tabelle 2.
Probenentnahme nach Nitzsch in Beelitz.

Bodentiefe in cm	A in g	n	m ±	m in %
Entnahmen am 9. Juni, 28. Juli, 30. September 1938.				
0—10	132,00	3	3,24	2,45
10—20	153,33	3	0,41	0,27
30—40	138,52	3	2,13	1,54
50--60	161,35	3	2,66	1,65
80—90	163,79	3	0,51	0,31
110—120	159,17	3	1,83	1,14

A = arithmetisches Mittel,
n = Zahl der Parallelen,
s = Standardabweichung,
m = mittlere Abweichung des arithmetischen Mittels.

weichungen vorhanden sind, können diese Unterschiede durch Verschiedenheiten in der Bodenzusammensetzung auf kleinster Fläche und durch zeitliche Schwankung des Volumens von Juni bis September eine Erklärung finden.

In Tabelle 2 sind die drei zu verschiedenen Zeiten gewonnenen Werte für die verschiedenen Tiefen zusammengefaßt. Es zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der Bodenwerte für die drei Entnahmezeiten, wenn man die mittlere Abweichung vom

arithmetischen Mittel betrachtet. Besonders gering ist die Abweichung im verdichteten Horizont (10—20 cm), dagegen erreicht die Schwankung im 0—10-cm-Horizont den höchsten Wert, wofür bereits eine Erklärung gegeben wurde.

Wir haben bei der Probenentnahme nach Nitzsch die mögliche Fehlergrenze aufgezeigt und konnten feststellen, daß die Abweichungen verhältnismäßig gering sind. Es sollen nun diese Werte den mit Hilfe von anderen Methoden ermittelten Ergebnissen gegenübergestellt und die Schwankungsgrößen berechnet werden.

2. Entnahme von Proben mit dem 100-ccm-Stahlrohr in der Bodenschicht 0—10 cm.

Die Ergebnisse dieser Entnahme sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Bei der Unebenheit der Oberfläche der lockeren Krume ist die bei der Entnahme mit dem Rohr innerhalb 8 bis 9 Parallelen auftretende hohe Standardabweichung verständlich. Die Übereinstimmung mit den Zahlen der Zylinderproben nach Nitzsch ist teilweise gut, zumal berücksichtigt werden muß, daß mit den Zylindern nur eine etwa 4 cm hohe Bodensäule entnommen wird. Bei der Zusammenfassung von 26 Parallelen ist die gleiche Tendenz festzustellen.

Tabelle 3. Beelitz.
Entnahme mit dem 100-ccm-Stahlrohr in der Bodenschicht 0—10 cm.

Entnahmetag	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
9. Juni 1938	101,44	8	6,98	6,88	126,03	80,49
30. Juni 1938	111,57	9	13,19	11,82	126,03	88,53
28. Juli 1938	127,10	9	8,82	6,94	132,81	95,70
9. Juni—28. Juli 1938	113,83	26	14,39	12,64	132,00	86,23

3. Entnahme nach Janert.

Die Schwankungen der auf 100 ccm umgerechneten Werte sind innerhalb von 4 Parallelen im Sandboden des Beelitzer Teilstückes sehr groß (Tabelle 4). Aber auch die Abweichungen von den Werten nach der Zylindermethode sind teilweise sehr erheblich.

Tabelle 4. Beelitz.
Entnahme nach Janert in Beelitz. Bohrungen am 30. September 1938.

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
0—10	82,55	4	13,20	15,99	137,17	60,18
10—20	132,27	4	8,84	6,68	153,39	86,23
30—40	123,08	4	24,54	19,94	136,23	90,35
50—60	104,25	4	50,20	48,15	162,18	64,28
80—90	181,75	4	30,72	16,90	163,95	110,86
100—110	147,2	2	5,09	3,46	160,45	91,74

4. Entnahme von Bodenproben mit dem Mitscherlich-Bohrer Nr. 1.

Aus den Zusammenstellungen (Tabelle 5a) der mit diesem abgeänderten Bohrer erzielten Ergebnisse (gleiche Horizonte, verschiedene Profile) geht hervor, daß die Schwankung innerhalb der 2 bis 9 Parallelen nur teilweise sehr groß ist. Beim Vergleich mit den Zylinderproben nach Nitzsch ergibt sich, daß die Abweichung im Horizont 0—10 cm (Bohrung vom 21. Mai 1938) am größten ist, in tieferen Schichten aber abnimmt und teilweise sogar den nach Nitzsch gewonnenen Werten ziemlich gleich kommt. Vom Horizont 60—70 cm ab übersteigen die Bohrerwerte die Zylinderwerte ganz erheblich. Diese Erscheinung konnte bei allen Bohrungen in diesem Sandboden festgestellt werden, wovon hier nur für 3 Entnahmetage die Werte mit bis

Tabelle 5a. Beelitz.

Entnahme von Bodenproben nach Mitscherlich (Bohrer Nr. 2).

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g n. Nitzsch	Nitzsch = 100
Bohrung am 21. Mai 1938.						
0—10	91,85	2	4,17	4,54	126,03	72,88
10—20	137,80	2	8,77	6,36	152,60	90,30
30—40	144,22	2	6,90	4,78	142,77	101,02
50—60	154,70	2	4,95	3,19	164,19	94,22
80—90	219,25	2	1,77	0,81	164,27	133,47
110—120	235,50	2	8,20	3,48	161,50	145,82
Bohrung am 30. Juni 1938.						
10—20	153,66	9	23,20	15,10	152,60	100,69
20—30	139,70	3	9,50	6,80	148,00	94,39
30—40	115,26	9	29,17	25,31	142,77	80,73
40—50	122,87	3	14,88	12,11	154,00	79,79
50—60	151,17	9	25,39	16,79	164,19	92,07
60—70	192,38	3	20,02	10,41	164,50	116,95
70—80	200,27	3	38,10	19,02	164,30	121,89
80—90	221,04	9	24,68	11,17	164,27	134,56
90—100	240,84	3	16,10	6,68	163,80	147,03
100—110	229,00	3	4,40	1,92	162,00	141,36
110—120	214,32	9	29,20	13,62	161,50	132,71
Bohrung am 28. Juli 1938.						
10—20	153,67	9	4,48	2,92	154,01	99,78
20—30	139,71	3	9,14	6,54	145,30	96,15
30—40	102,68	9	31,14	30,33	136,57	75,18
40—50	123,08	3	15,54	12,63	148,00	83,16
50—60	154,80	9	40,68	26,28	157,69	98,17
60—70	214,05	3	19,85	9,27	161,50	132,54
70—80	222,52	3	10,60	4,76	163,00	136,52
80—90	229,63	9	14,10	6,14	163,16	140,74
90—100	229,78	3	11,50	5,00	161,50	142,28
100—110	233,63	3	13,21	5,65	159,50	146,48
110—120	222,86	9	48,70	21,85	155,55	143,27

zu 9 Parallelen wiedergegeben werden. In der Tabelle 5b sind die Zahlen für 2 einzelne Profile angegeben und die jeweiligen Werte beim gleichen Profil an 4 verschiedenen Entnahmetagen zusammengestellt. Auch hier zeigt sich sowohl bei der Standard-

Tabelle 5b. Beelitz.
Probenentnahme nach Mitscherlich (Bohrer Nr. 2).

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g n. Nitzsch	Nitzsch = 100
Bohrungen am 9. Juni, 30. Juni, 28. Juli, 29. August 1938. Teilstück Nr. A, 6						
10—20	153,67	4	14,79	9,62	153,33	100,22
20—30	129,83	4	19,37	14,92		
30—40	105,09	4	21,77	20,72	138,52	75,87
40—50	111,82	4	2,75	2,46		
50—60	130,56	4	19,97	15,30	161,35	80,92
60—70	183,88	4	17,60	9,57		
70—80	214,16	4	8,36	3,90		
80—90	217,52	4	14,34	6,49	163,79	132,80
90—100	228,57	4	9,96	4,36		
100—110	207,02	4	24,33	11,75		
110—120	237,72	4	22,43	9,44	159,17	149,35
Bohrungen am 21. Mai, 9. Juni, 30. Juni, 28. Juli 1938. Teilstück Nr. A, 2.						
10—20	159,57	4	12,75	7,96	153,33	104,07
30—40	144,81	4	6,15	4,25	138,52	104,54
50—60	137,11	4	14,30	10,43	161,35	84,98
80—90	211,43	4	5,19	2,45	163,79	129,09
110—120	223,62	4	26,80	11,98	159,17	140,49

abweichung als auch bei der Abweichung gegenüber den Zylinderproben das gleiche Bild. Allerdings muß bei der Standardabweichung die Möglichkeit einer Veränderung des Volumens vom Juni bis August in Rechnung gezogen werden. Andererseits muß berücksichtigt werden, daß für die Zylinderwerte der Mittelwert aus drei zeitlich verschiedenen Entnahmen herangezogen wurde.

Betrachten wir die Mittelwerte der mit dem Bohrer gewonnenen Trockensubstanzmengen, so erscheinen die Werte von z. B. 230—240 g Boden für 100 ccm Volumen zu hoch.

Mitscherlich hatte bei der Eichung seines Bohrgerätes Nr. 1 reinen Quarzsand verwendet (1) und fand, daß 1 ccm eingeschlämmter Sand = 1,72 ± 0,02 g trockenem Sand entspricht.

Wenn auch der Beelitzer Sand eine ungleichmäßigere Körnung aufweist und deshalb durch Einlagerung von kleinen Sandkörnern in die Hohlräume zwischen groben Körnern etwas dichter gelagert sein kann, so sind die gefundenen Zahlen doch noch zu hoch. Das mittlere Substanzgewicht in 100 ccm beträgt bei der Probenentnahme mit Zylindern rund 164 g, und diese Zahlen entsprechen den tatsächlichen Verhältnissen zweifellos mehr. Die Höhe des Bodengewichts bei dem Mitscherlich-Bohrer

Tabelle 6. Biesdorf.
Entnahme von Bodenproben mit 100-ccm-Zylinder nach Nitzsch.

Bodentiefe in cm	A in g	n	s +	s in %
Teilstück A. Lehmiger Sand. Entnahme am 17. Juni 1938.				
0—10	127,77	3	4,98	3,90
10—20	143,14	3	6,18	4,32
30—40	159,28	3	1,76	1,11
50—60	163,07	3	4,01	2,46
80—90	181,18	3	4,08	2,25
110—120	179,26	3	1,08	0,60
Entnahme am 3. August 1938.				
0—10	132,64	4	3,23	2,44
10—20	153,86	3	0,94	0,62
30—40	155,44	4	4,17	2,68
50—60	153,16	3	3,56	2,32
80—90	158,26	4	3,74	2,36
110—120	176,55	4	3,67	2,08
Entnahme am 6. Oktober 1938.				
0—10	144,95	5	3,56	2,46
10—20	153,30	5	2,66	1,74
30—40	159,31	5	1,87	1,19
50—60	156,79	5	3,51	2,24
80—90	158,61	4	4,85	3,06
110—120	180,27	5	5,29	2,93
Teilstück B. Sandiger, kalkhaltiger Lehm. Entnahme am 17. Juni 1938.				
0—10	145,60	3	2,03	1,39
10—20	155,99	3	15,28	9,80
30—40	169,48	3	1,68	0,99
50—60	179,83	3	4,79	2,66
80—90	175,53	3	6,76	3,85
110—120	173,82	3	7,35	4,23
Entnahme am 3 August 1938.				
0—10	152,19	3	10,48	6,89
10—20	165,17	3	1,59	0,96
30—40	168,00	4	4,08	2,43
50—60	177,81	4	1,45	0,82
80—90	173,23	4	2,32	1,34
110—120	177,10	4	4,12	2,33
Entnahme am 6. Oktober 1938.				
0—10	161,63	5	7,04	4,36
10—20	161,67	5	4,76	2,94
30—40	160,29	5	2,61	1,63
50—60	171,67	5	4,20	2,45
80—90	167,26	5	4,15	2,48
110—120	178,38	5	4,51	2,53

Nr. 2 in den unteren Horizonten verstärkt unsere Vermutung, daß durch den Bohrer bzw. durch den äußeren Schneckengang noch Boden von der Seite nach unten gedrückt wird und dann

Tabelle 7. Biesdorf.
Entnahme mit 100-ccm-Zylinder nach Nitzsch am 17. Juni, 3. August, 6. Oktober 1938.

Bodentiefe in cm	A in g	n	m ±	m in %
Teilstück A. Lehmiger Sand.				
0—10	135,12	3	5,11	3,78
10—20	150,10	3	3,48	2,32
30—40	157,34	3	1,12	0,71
50—60	157,67	3	2,90	1,84
80—90	166,02	3	7,58	4,57
110—120	178,69	3	1,11	0,62
Teilstück B. Sandiger, kalkhaltiger Lehm.				
0—10	153,14	3	4,65	3,04
10—20	160,94	3	2,67	1,66
30—40	165,92	3	2,85	1,72
50—60	176,44	3	2,46	1,39
80—90	172,01	3	2,47	1,44
110—120	176,43	3	2,30	1,30

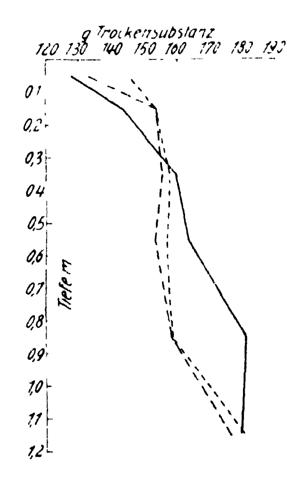
in den Bohrkopf gelangt, da eine seitliche Verdrängung, wie es in den oberen, locker gelagerten Schichten noch möglich ist, nicht mehr erfolgen kann.

II. Biesdorf.

Teilstück A. Lehmiger Sand,
Teilstück B. Sandiger, kalkhaltiger Lehm.

1. Entnahme mit 100-ccm-Zylindern nach Nitzsch.

Wie in Beelitz, so läßt auch hier in beiden Teilstücken die Zylindermethode geringe Schwankungen erkennen, obwohl hier nur mit 3 bis 5 Parallelen gearbeitet wurde. Die mittlere Abweichung des arithmetischen Mittels ist in Tabelle 7 ebenfalls



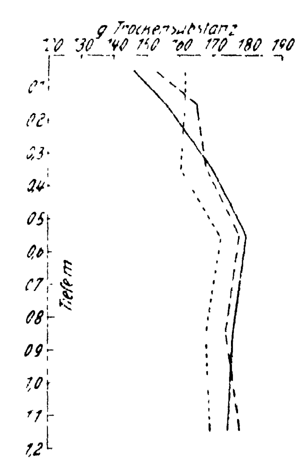
Entnahme am 17. Juni 1938 = ————————
„ „ 3. Aug. 1938 = — — — — — —
„ „ 6. Okt. 1938 = - - - - - - - - - - -

Abb. 2.
Schwach lehmiger Sand (Biesdorf, A).
Entnahme von Bodenproben mit 100-ccm-Zylindern nach Nitzsch.

Die mechanische Analyse des Horizontes von 80—90 cm gibt für die Abweichung bei der Entnahme vom 17. Juni 1938 eine Erklärung.

Entnahme am:	0,02—0,002 mm	kl. als 0,002 mm
17. Juni 1938	13,4 %	6,4 %
3. Aug. 1938	9,0 %	0,6 %
6. Okt. 1938	8,0 %	0,2 %

verhältnismäßig gering. Hier zeigt sich auch wieder innerhalb der 3 Entnahmen die größere Schwankung im obersten Horizont, wobei auch die zeitweise Auflockerung durch das Hacken einen Einfluß ausübt. Die größere Schwankung in dem Teilstück A im Horizont 80—90 cm, wie sie in der graphischen Darstellung 2 besonders auffällt, ist wohl darauf zurückzuführen, daß der sonst erst bei 90 cm beginnende sandige Lehm bei der ersten Entnahme schon etwas flacher in Form von Einschlüssen angetroffen wurde.



Entnahme am 17. Juni 1938 = ————————
„ „ 3. Aug. 1938 = — — — — — —
„ „ 6. Okt. 1938 = - - - - - - - - - - -

Abb. 3.
Sandiger, kalkiger Lehm (Biesdorf, B).
Entnahme von Bodenproben mit 100-ccm-Zylindern nach Nitzsch.

2. Entnahme mit dem 100-ccm-Stahlrohr im Horizont 0—10 cm.

Die Genauigkeit und die Übereinstimmung mit den Zylinderwerten ist bei den mit dem Rohr erhaltenen Proben im humosen Sand des Teilstücks A besser als im schwach humosen, sandigen Lehm des Teilstücks B (Tabelle 8).

Tabelle 8. Biesdorf.
Entnahme mit dem Stahlrohr (100 ccm) im Horizont 0—10 cm.

Entnahmetag	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
			Teilstück A.			
17. Juni 1938	126,32	4	4,34	3,44	127,77	98,87
14. Juli 1938	118,06	4	8,03	6,80	127,77	92,40
3. Aug. 1938	128,48	4	8,40	6,54	132,64	96,86
			Teilstück B.			
17. Juni 1938	114,56	6	9,26	8,08	145,60	78,68
14. Juli 1938	129,64	6	7,28	5,62	145,60	89,04
3. Aug. 1938	130,97	6	10,66	8,14	152,19	86,06

3. Entnahme mit dem Mitscherlich-Bohrer Nr. 1.

a) In beiden Teilstücken (Tabelle 9a) ist die Schwankung innerhalb von 2 bis 4 Probenserien außerordentlich hoch. Die

Tabelle 9a. Biesdorf.
Probenentnahme nach Mitscherlich (Bohrer Nr. 1)

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
Teilstück A, 1—4. Lehmiger Sand. Bohrung am 26. Mai 1938.						
0—10	78,84	4	16,76	21,26	127,77	61,71
30—40	111,27	3	10,75	9,66	159,28	69,86
80—90	116,92	4	8,95	7,65	181,18	64,53
110—120	139,70	4	29,05	20,80	179,26	77,93
Bohrung am 14. Juli 1938.						
10—20	78,00	4	21,47	27,48	143,14	54,49
20—30	80,29	2	0,98	1,22		
30—40	81,79	4	13,24	15,89	159,28	51,35
40—50	75,87	2	20,55	26,99		
50—60	87,44	4	38,10	43,57	163,07	53,62
60—70	68,89	2	4,24	6,15		
70—80	99,57	2	38,17	38,34		
80—90	113,00	4	30,36	26,87	181,18	62,34
90—100	163,93	2	12,35	7,53		
100—110	170,26	2	23,65	13,30		
110—120	134,79	4	33,70	25,00	179,26	75,19
Bohrung am 3. August 1938.						
10—20	132,35	4	9,97	7,53	153,86	86,02
20—30	138,73	2	5,49	3,24		
30—40	148,72	4	8,85	5,21	155,44	95,68
40—50	140,35	2	6,08	4,33		
50—60	134,71	4	4,07	3,02	153,16	87,95
60—70	143,31	2	9,60	6,69		
70—80	162,63	2	20,12	12,31		
80—90	159,51	4	30,08	18,86	158,26	100,79
90—100	171,32	2	10,89	6,36		
100—110	174,94	2	21,17	12,10		
110—120	179,10	4	7,59	4,24	176,55	101,44
Teilstück B. Sandiger, kalkhaltiger Lehm. Bohrung am 7. Mai 1938.						
0—10	54,44	6	18,36	33,73	145,60	37,39
30—40	96,35	6	41,43	43,00	169,48	56,85
80—90	132,85	6	36,86	22,74	175,56	75,67
Bohrung am 14. Juli 1938.						
10—20	89,66	6	28,97	32,31	155,99	57,48
20—30	142,72	2	2,99	2,10		
30—40	131,29	6	18,01	13,72	169,48	77,47
40—50	157,03	2	31,92	20,33		
50—60	127,99	6	34,09	26,64	179,83	71,17
60—70	174,54	2	2,45	1,40		
70—80	165,34	2	13,79	8,30		
80—90	157,65	6	38,55	24,45	175,56	89,80
90—100	200,38	2	8,87	4,43		
100—110	184,76	2	0,14	0,08		
110—120	169,97	6	23,65	13,91	173,82	97,79

Übereinstimmung mit den nach der Zylindermethode erzielten Proben ist zwar etwas besser, als sie Freckmann und Baumann (4) fanden, jedoch ist das Verhältnis, besonders in den

oberen Horizonten zu ungünstig. Allgemein steigt das geförderte Volumen nach unten zu an und kommt den Werten nach Nitzsch etwas näher. Offenbar findet auch hier durch die Bohrlöffel und teilweise durch das Dazwischensetzen kleiner Steine eine Zusammenpressung bzw. eine Verdrängung des Bodens statt. In tieferen Schichten scheint allerdings der Bohrer den Boden infolge seiner dichteren Lagerung besser zu fassen. Es hat dabei an sich keine Bedeutung, wenn z. B. bei einer Probenentnahme (3. August 1938) in den unteren Schichten eine sehr gute Übereinstimmung mit der Methode nach Nitzsch

Tabelle 9b. Biesdorf.
Probenentnahme nach Mitscherlich (Bohrer Nr. 1).
Entnahme in der Zeit vom 7. Mai bis 7. September 1938.

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
			Teilstück A, 3.			
10—20	76,22	4	40,53	53,18	150,10	50,78
20—30	83,92	4	41,27	49,18		
30—40	95,53	5	49,72	52,05	157,34	60,72
40—50	78,77	4	38,76	49,21		
50—60	84,22	4	38,19	45,35	157,67	53,42
60—70	94,38	4	40,85	43,28		
70—80	132,38	4	34,56	26,11		
80—90	152,73	6	29,39	19,24	166,02	91,99
90—100	159,56	4	25,61	16,05		
100—110	152,02	4	32,65	21,48		
110—120	141,14	5	36,31	25,73	178,89	78,90
			Teilstück A, 1.			
10—20	101,93	4	32,33	31,71	150,10	67,91
30—40	121,94	6	22,38	18,35	157,34	77,50
50—60	116,99	4	34,73	29,69	157,67	74,20
80—90	121,13	6	27,63	22,81	166,02	72,96
110—120	169,24	5	28,72	16,97	178,89	94,61
			Teilstück B, 4.			
10—20	91,66	4	22,53	24,58	160,94	56,95
20—30	118,20	4	28,77	24,34		
30—40	107,25	5	46,14	43,02	165,92	64,64
40—50	121,03	4	50,14	41,43		
50—60	136,00	4	46,83	24,43	176,44	77,08
60—70	174,60	4	17,50	10,02		
70—80	157,30	4	25,28	16,07		
80—90	167,14	5	18,89	11,30	172,01	97,17
90—100	186,82	4	18,35	9,82		
100—110	184,75	4	6,77	3,66		
110—120	171,93	4	26,44	15,38	176,43	97,45
			Teilstück B, 2.			
10—20	73,58	4	29,76	40,45	160,94	45,72
30—40	103,76	5	41,35	39,85	165,92	62,54
50—60	102,44	4	37,13	36,25	176,44	58,06
80—90	116,82	5	30,22	25,87	172,01	67,91
110—120	143,59	4	17,40	12,12	176,43	81,39

erzielt worden ist, da sich bei unseren umfangreichen Bohrungen keine große Zuverlässigkeit herausstellte.

b) Um die möglichen Bodenunterschiede innerhalb der Teilstücke auszuschalten, wurden die Substanzwerte innerhalb des gleichen Profils (die Entfernung jedes Bohrloches vom vorangehenden beträgt 25 cm) auch noch verglichen. Die Tabelle 9b zeigt annähernd die gleichen Werte der Abweichungen an, so daß wohl ausschließlich die Arbeitsweise des Bohrgerätes bestimmend ist.

4. Entnahme nach Hey in Biesdorf.

Während auf dem kalkhaltigen, lehmigen Boden des Teilstücks B das neue Bohrgerät nach Hey in den tieferen Horizonten wegen des festen Bodens versagte, konnten auf dem Teilstück A im lehmigen Sand gute Ergebnisse erzielt werden. Wie die Tabelle 10 zeigt, ist die Standardabweichung gering und die Übereinstimmung mit der Methode nach Nitzsch gleichmäßig gut, zumal die Zylinder nach Hey die Bodensäule in einer Mächtigkeit von 10 cm entnehmen.

5. Entnahme nach Janert in Biesdorf.

Auf dem mehr bindigen Boden ist hier zwar die Schwankung innerhalb 2 bis 3 Parallelen noch groß, jedoch wird eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit der Zylindermethode erzielt (Tabelle 11). Abgesehen von der 0--10-cm-Schicht kommen diese

Tabelle 10. Biesdorf.
Probenentnahme nach Hey (auf 100 ccm umgerechnet).

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
Teilstück A, 4. Lehmiger Sand. Bohrung am 7. Oktober und 17. November 1938.						
0 10	139,28	2	4,71	3,38	145,21	95,92
10—20	141,04	2	1,19	0,84	153,30	92,00
20—30	152,34	2	3,34	2,19		
30—40	144,17	2	3,49	2,42	156,67	92,02
40- 50	143,46	2	16,0[illegible]	11,19		
50—60	157,84	2	3,92	2,48	156,72	100,71
60—70	155,11	2	7,48	4,82		
70—80	155,13	2	0,19	0,12		
80 -90	151,89	2	2,27	1,49	158,61	95,76
90—100	164,81	2	11,47	6,96		
100—110	160,91	2	2,67	1,66		
110—120	162,77	2	9,01	5,54	180,44	90,21

Werte meist dicht an 100 ccm heran. Dasselbe zeigt sich bei der Gegenüberstellung von Werten des gleichen Profiles an zwei verschiedenen Entnahmetagen.

Eine gute Übereinstimmung der mit dem Janert-Bohrer erbohrten Volumen-Werte fand auch Heinrich (5), allerdings bei steinfreiem und feuchtem Sandboden (Laubdecke!).

Tabelle 11. Biesdorf.
Probenentnahme nach Janert (auf 100 ccm umgerechnet).

Bodentiefe in cm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100
Teilstück A. Lehmiger Sand. Bohrung am 17. November 1938.						
0—10	87,94	3	12,64	14,37	145,21	60,56
10—20	127,90	3	12,76	9,98	153,30	83,43
20—30	150,65	2	16,45	10,92		
30—40	152,11	3	15,30	10,06	156,67	97,09
40—50	125,14	2	39,19	31,32		
50—60	146,28	3	37,15	25,40	156,72	93,34
60—70	126,84	2	16,76	13,21		
70—80	151,06	2	10,27	6,80		
80—90	169,83	2	18,88	11,12	158,61	107,07
90—100	164,90	2	36,52	22,15		
100—110	169,92	2	13,04	7,67	180,44	94,17
Teilstück A, 2. Bohrung am 7. Oktober und 17. November 1938.						
0—10	68,7	2	9,62	14,00	144,95	47,40
10—20	111,59	2	4,51	4,04	153,30	72,79
30—40	141,96	2	10,26	7,23	157,31	90,24
50—60	119,65	2	22,86	19,11	156,79	76,31
80—90	157,64	2	1,66	1,05	158,61	99,39
100—110	170,52	2	12,19	7,15	180,27	94,59

III. Gransee.

Entnahme nach Hey.

Auch bei den verschiedenen Bodenarten der Teilstücke A, B, C, D in Gransee ist die Übereinstimmung mit der Methode nach Nitzsch gut (Tabelle 12). Dies zeigt sich nicht nur innerhalb des Teilstücks A bei 3 Parallelen, sondern auch bei den übrigen Teilstücken bei je einer Bohrung nach Hey. Bei dem Teilstück A könnte eine Abweichung möglicherweise durch die Bodenart bedingt sein, die in Gransee oft auf kleinster Fläche wechselt.

IV. Dahlem.

Im Dahlemer lehmigen Sandboden wurden mit dem Mitscherlich-Bohrer Nr. 2 auf einem Stück dicht nebeneinander 12 Bohrungen durchgeführt[2]). Ein Vergleich mit der Zylindermethode zeigte, daß das Substanzgewicht im Mittel von 12 Bohrungen bei 118,40% über den Zylinderwerten lag. Die Standardabweichung beträgt 215,6 ± 11,19 oder 5,19%. Hier tritt wieder die Erscheinung zutage, daß bei einem dichteren Substrat schon in der Tiefe von 30—40 cm die Verdrängungsmöglichkeit geringer ist und etwas mehr Boden von der Seite in den Bohrkopf gelangt.

[2]) Auf dem Versuchsfeld des Instituts für Obstbau der Universität Berlin.

Tabelle 12. Gransee.
Probenentnahme nach Hey (auf 100 ccm umgerechnet).
Bohrung am 20. Oktober 1938.

Bodentiefe in ccm	A in g	n	s ±	s in %	A in g nach Nitzsch	Nitzsch = 100	Bodenart
				Teilstück A, 2, 3, 4.			
0—10	145,20	2	13,95	9,61	147,20	98,64	mittelhumoser Sand
10—20	149,28	3	13,18	8,83	151,81	98,33	mittelhumoser Sand
20—30	159,25	2	1,08	0,68			mittelhumoser Sand
30—40	151,87	3	3,60	2,37	166,53	91,20	mittelhumoser Sand
40—50	164,30	2	2,57	1,56			schwach lehmig. Sand
50—60	159,84	3	3,13	1,96	168,00	95,14	lehmiger Sand
60—70	167,39	2	1,37	0,82			lehmiger Sand
70—80	164,57	2	2,33	1,42			sandiger Lehm
80—90	166,54	3	7,05	4,23	155,70	106,96	sandiger Lehm
				Teilstück B, 3.			
0—10	142,71				130,30	109,50	mittelhumoser Sand
10—20	145,06				150,77	96,21	mittelhumoser Sand
30—40	146,17				151,07	96,37	mittelhumoser Sand
50—60	156,61				152,66	102,59	ganz schw. hum. Sand
80—90	156,11				153,29	101,84	mittelgrober Sand
110—120	165,40				160,37	103,14	mittelgrober Sand
				Teilstück C, 2.			
0—10	147,93				151,15	97,87	mittelhumoser Sand
10—20	156,39				150,14	104,16	mittelhumoser Sand
30—40	160,80				162,28	99,08	mittelgrober Sand
50—60	174,65				167,82	104,41	mittelgrober Sand
80—90	170,82				163,08	104,75	lehmiger Sand
110—120	184,31				164,79	111,84	schwach lehmig. Sand
				Teilstück D, 3.			
0—10	84,02*)				137,78	60,98*)	schw. lehm. hum. Sand
10—20	142,32				153,01	93,01	schw. lehm. hum. Sand
30—40	149,19				152,29	97,96	schw. lehm. m. fein. S.
50—60	143,09				139,52	102,56	schw. lehm. m. fein. S.
80—80	153,03				155,24	98,57	schw. lehm. m. fein. S.
110—120	181,03				173,01	104,58	lehmiger Sand

*) Hier scheint offensichtlich ein Entnahmefehler vorzuliegen.

Zusammenfassung.

Es wurden die von 4 verschiedenen volumetrischen Bohrgeräten (Hey, Janert, Mitscherlich-Bohrer Nr. 1 und 2) erbohrten Bodenmengen verglichen. Es konnten sowohl die Schwankungen bei den Bohrmethoden innerhalb mehrerer Parallelen, als auch die Abweichungen von den Werten der Zylindermethode nach Nitzsch berechnet werden. Die Genauigkeit bei der Probenentnahme mit 100-ccm-Zylindern nach Nitzsch wurde aufgezeigt. Bei den mit der ersten und zweiten Bohrerausführung von Mitscherlich erhaltenen Werten zeigte sich, daß die Schwankungen innerhalb zahlreicher Parallelen ziemlich groß sind. Beim Vergleich der mit Hilfe von Zylindern gewonnenen Proben ergab sich, daß das erfaßte Volumen beim Mitscherlich-

Bohrer Nr. 1 in den oberen, lockeren Schichten stets weniger als 100 ccm betrug, dagegen gab der Bohrer in tieferen Schichten annähernd richtige Werte. Der Mitscherlich-Bohrer Nr. 2 ergab in den oberen Schichten von Sandboden bei 10 cm Tiefeneinstellung ähnliche Werte wie die 100-ccm-Zylinder, jedoch in den tieferen Schichten mit dichterer Lagerung ging das Volumen beträchtlich über 100 ccm hinaus. Dieselbe Feststellung wurde im lehmigen Sand schon in flacheren Horizonten gemacht.

Der Janert-Bohrer arbeitete im trockenen Sandboden (Beelitz) sehr ungenau, dagegen war die Arbeitsweise im schwach lehmigen bis lehmigen Sand mehr zufriedenstellend.

Die Arbeitsweise der Bohrer nach Janert und Mitscherlich ist also in den einzelnen Bodenarten sehr unterschiedlich.

Im Horizont 0—10 cm waren die Ergebnisse mit dem 100-ccm-Stahlrohr oft Schwankungen unterworfen, jedoch lagen bei allen Bohrern außer nach Hey die Werte in diesem Horizont bedeutend ungünstiger

Der neue Bohrer nach Hey versagte zwar auf kalkigem Lehm, zeigte jedoch im feuchten Sand, lehmigen Sand und sandigen Lehm sehr zuverlässige Werte.

Der Bohrer nach Hey kommt den mit Hilfe von Zylindern gewonnenen Werten am nächsten und arbeitet von allen benutzten Bohrern am zuverlässigsten, was bei der kombinierten Methode auch zu erwarten war. Unter bestimmten Voraussetzungen ist auch der Janert-Bohrer noch geeignet (feuchter Sand und lehmiger Sand).

Die Durchführung der Bohrungen nach Hey nehmen allerdings mehr Zeit in Anspruch, besonders dann, wenn man mit mehreren Parallelen arbeitet. Für umfangreiche volumetrische Probenentnahmen kame nach unseren Erfahrungen die erste Ausführung von Mitscherlich in Betracht, wobei allerdings in den verschiedenen Bodenarten eine Eichung mit der Zylindermethode erfolgen müßte. Diese erste Ausführung ist auch in der Arbeitsweise recht brauchbar, da keine Vermischung des Bodens wie bei den meisten Löffelbohrern erfolgt. Außerdem kommt der Bohrkopf an kleinen Hindernissen ohne Schwierigkeit vorbei. Die zweite Ausführung des Bohrers von Mitscherlich läßt zwar kleine Steine in den Bohrkopf gelangen, jedoch ist zur notwendigen Entfernung des Steines ein umständliches Herausdrehen des Bohrers erforderlich.

Schrifttum.

1. Mitscherlich, E. A, u. H. Beutelspacher: Ein Bohrgerät zur volumetrischen Entnahme von Bodenproben aus beliebiger Tiefe. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **44**, 1936, 310—515.
2. Janert, H.: Neue Methoden zur Bestimmung der wichtigsten physikalischen Grundkonstante des Bodens. Landw. Jb., Berlin, **66**, 1927, 425—476.
3. Hey, A.: Über ein Gerät zur Entnahme von strukturmäßigen Zylinderproben im Bodenprofil. Bodenkundl. Forsch., Berlin, **6**, 1938, 54—64.
4. Freckmann, W., u. H. Baumann: Zu den Grundfragen des Wasserhaushaltes im Boden und seiner Erforschung. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **2** (47), 1936/1937, 127—166.
5. Heinrich, F.: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden Norddeutschlands. Forst- u. Jagdwesen, Berlin, 1936, 245. [278]

Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Mikroorganismentätigkeit auf das dynamische Verhalten der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und Stickstoffverbindungen des Bodens.

Von **D. Fehér, M. Frank** und **G. A. Manninger** jun.

Aus dem botanischen Institut der königlich ungarischen Palatin-Josef-Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften, Sopron Ungarn.

Eingegangen: 24. Januar 1939.

Einleitung.

Im Laufe unserer Forschungen, die wir bezüglich der Kreislaufprobleme der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und Stickstoffverbindungen der Wald- und Ackerböden in der freien Natur durchgeführt haben, gelang es uns, den periodischen und regelmäßigen Charakter dieser Vorgänge zu erkennen. Diese Forschungen, die wir in dieser Zeitschrift in verschiedenen Arbeiten bereits behandelt haben (1, 2, 3), zeigten, daß die zeitlichen und periodischen Unterschiede, die sich zwischen dem Gehalt an leichtlöslichen Kali- und Phosphorsalzen in den einzelnen Zeitperioden ergeben, einwandfrei nachgewiesen werden können (4 – 8).

Wir möchten schon hier betonen, daß die periodischen Schwankungen der leichtloslichen N-Verbindungen auch auf Grund der Arbeiten anderer Forscher, in der einschlägigen Literatur bereits ausführlich behandelt worden

Tabelle 1.

Versuchsfläche 11. Weißbuchenwald bei Sopron.

Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O	Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O	Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O
		mg/100 g				mg/100 g				mg/100 g	
1934				1935				1936			
3.	22	2,11	8,08	1.	26	2,74	15,50	1.	33	3,03	8,8
4.	28	3,30	18,48	5.	—	—	—	5.	28	3,82	13,6
5.	30	3,96	11,56	8.	14	3,69	14,30	7.	28	1,32	15,3
6.	40	2,77	12,22	11.	34	1,32	10,20	11.	22	2,24	9,4
7.	32	3,94	17,00								
8.	22	3,25	12,75								
11.	—	—	—								
Δ %		88	129	Δ %		174	52	Δ %		189	74

Versuchsfläche 15. Fichtenwald bei Sopron.

Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O	Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O	Zeitpunkt	Alkalität	P_2O_5	K_2O
1934				1935				1936			
3.	28	5,55	14,96	1.	30	1,32	15,13	1.	14	2,20	19,32
4.	24	3,30	18,00	5.	26	1,05	11,44	5.	26	0,92	16,88
5.	26	3,48	20,40	8.	34	2,38	10,88	7.	52	7,59	11,50
6.	26	3,30	18,56	11.	28	1,52	19,19	11.	22	1,45	12,16
7.	34	3,32	17,32								
8.	30	2,44	14,95								
11.	20	1,60	19,00								
Δ %		247	36,4	Δ %		126,6	76,4	Δ %		725	68

Sigmond-Methode nach Várallyai (siehe Schrifttum).

sind. Über diesen Gegenstand haben wir an einem anderen Orte berichtet, und zwar nicht nur über unsere Untersuchungen in der freien Natur, sondern auch über unsere experimentelle Untersuchungen (9).

Nach der Veröffentlichung unserer Untersuchungsresultate, die das dynamisch und mikrobiologisch bedingte Verhalten der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze des Bodens auf Grund von mehrjährigen Beobachtungen von Naturböden dargelegt haben, sind auch von anderen Forschern Untersuchungen durchgeführt worden, die diesen Grundsatz bestatigt haben Wir führen hier zur Unterrichtung einige typische Untersuchungsergebnisse an. Bezüglich der Frage der absoluten Größe der Schwankungen sind zur exakten Klarung dieses Problems noch weitere experimentelle und Freilandversuche notwendig (siehe Tabelle 1, 2, 3 und unter Schrifttum Nr. 6, 10).

Auf Grund dieser Befunde konnten wir mit gutem Recht folgern, daß die Schwankungen dieser Salze durch die Tatigkeit der Mikroorganismen des Bodens hervorgerufen werden. Die biogene Natur der leichtlöslichen Phosphorsalze, betreffs ihrer Angreifbarkeit durch die verschiedenen Bodenmikroorganismen, ist ja seit längerer Zeit bekannt. Bezüglich der leichtlöslichen Kalisalze sind zwar unsere Kenntnisse noch nicht so weit vorgeschritten, wir wissen aber, daß auch diese durch die Mikroorganismentatigkeit des Bodens beeinflußt werden können. Diese Beeinflussung kann mittelbar oder unmittelbar von statten gehen. Bezüglich der Phosphorverbindungen ist die unmittelbare Beeinflussung bereits in vieler Hinsicht bekannt. Als mittelbare Ursache können aller Wahrscheinlichkeit nach zunachst die verschiedenen sauren Produkte der Abbauprozesse, weiter die Wirkung der Atmungskohlensäure in Betracht gezogen werden. Die inneren Zusammenhange dieser Erscheinungen sind jedoch noch wenig bekannt

Tabelle 2.

Zeitpunkt der Untersuchung	Tiszaderzs-Cserököz Innundationsboden, angebaut							
	Weizen		Luzerne		Rübe		Erbse	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
1936	mg/100 g							
4.	6	27	8	39	2	25	2	25
5.	18	34	15	21	15	21	15	21
6.	11	26	11	12	12	21	5	12
7.	12	27	9	19	10	21	10	19
9.	10	20	11	20	7	11	5	9
Δ %	200	70	87,5	225	650	127	650	177,7

Zeitpunkt der Untersuchung	Alattyán Wiesentonboden, angebaut				Szarvas Bindiger Tonboden, angebaut			
	Luzerne		Rübe		Weizen		Mais	
	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O	P_2O_5	K_2O
1936	mg/100 g							
4.	46	27	26	21	10,9	21,3	7,9	35,7
5.	56	54	44	39	6,0	23,6	5,6	24,8
6.	18	35	33	15	—	—	—	—
7.	53	26	38	36	5,5	30,8	4,3	38,1
9.	47	34	29	22	—	—	—	—
Δ %	194	108	69	130	98	44	84	54

Sigmond-Methode nach Kreybig (siehe Schrifttum 10).

Tabelle 3. Angern.

Nr. der Versuchsfläche	Mit etwas Sand vermischter Tonboden am Marchfeld. Brache nach Gerste.					
	P_2O_5		Δ %	K_2O		Δ %
	16. 6.	25. 11.		16. 6.	25. 11.	
1	2,2	0,7	214	34,0	29,2	16
2	1,1	2,8	154	27,5	26,2	5
3	2,9	0,9	222	37,6	19,6	91
4	2,7	3,0	11	44,0	37,8	16
5	3,2	2,7	18	42,4	34,8	21
6	2,8	0,4	600	41,1	29,5	39
7	3,7	0,6	516	44,5	29,1	52
8	4,4	1,5	193	55,9	32,8	70
9	6,3	1,1	472	40,3	30,1	33
10	3,3	0,9	266	20,3	8,6	143
11	1,3	2,8	115	23,0	12,8	79
12	1,2	0,9	33	16,7	17,6	5

Die Analysen wurden in der ehemaligen Landwirtschaftlichen Chemischen Bundesanstalt in Wien durchgeführt. Neubauer-Methoden, siehe Schrifttum 17.

Angesichts der bereits hier und im Schrifttum mitgeteilten Forschungsergebnisse haben wir uns entschlossen, die Möglichkeiten der biologischen Beeinflussung dieser Salze experimentell durch künstliche Beeinflussung der Mikroorganismentätigkeit zu erforschen.

Es ist von uns wiederholt darauf hingewiesen, daß die Aktivität der Bodenmikroorganismen durch das Zusammenwirken der beiden Faktoren Wärme und Feuchtigkeit entscheidend beeinflußt wird (9). Beide Faktoren wirken, wie bekannt, bis zu ihren Optimumgrenzen fördernd und nach diesen hemmend. Multipliziert man sie miteinander, so bekommt man ein Produkt, das wir in unseren Arbeiten bereits dargestellt haben. Zum besseren Verständnis des folgenden möchten wir noch darauf hinweisen, daß der physiologische Wert, den wir mit dem Buchstaben R bezeichneten, und die regulative Fähigkeit dieses Faktors einzig und allein von der Lage seiner Komponenten bezüglich ihrer Optimumgrenzen abhängt. Wird diese Grenze von dem einen oder dem anderen der beiden Faktoren überschritten, so hört die fördernde Wirkung dieses Produktes auf und tritt in sein Hemmungsgebiet über. Nur R-Werte, die von solchen Faktoren gebildet werden, die ihre Optimumgrenzen noch nicht überschritten haben, wirken absolut fördernd. Die Optimumgrenze der Temperatur liegt bei ungefähr 25° C und die Optimumgrenze der Bodenfeuchtigkeit bei 66—80% der Sättigung der maximalen Wasserkapazität. Die Grenze für die Bodenpilze liegt ca. bei 40% der absoluten Wasserkapazität.

Auf Grund des vorhergesagten war es uns daher schon von vornherein wahrscheinlich, daß die optimale Mobilisierung der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze bzw. ihre Entstehung aus ihren schwerlöslichen Grundverbindungen mittels der Tätigkeit der Bodenmikroorganismen auch im Sinne des R-Gesetzes verlaufen wird, wie wir bezüglich der nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien diese Zusammenhänge bereits experimentell bewiesen haben (9).

Da diese Untersuchungen die Gesamtheit des Problems nicht erfaßten, so haben wir diesmal auch die mikrobiologische Beeinflussung der leichtlöslichen N-Verbindungen, vornehmlich der

Nitrate und des Ammoniaks, zum Gegenstand unserer experimentellen Arbeiten gemacht.

Da die klaren Zusammenhänge dieser Naturvorgänge durch das Zusammenwirken recht komplizierter Biofaktoren in der freien Natur nur schwer nachzuweisen sind, so entschlossen wir uns, das fragliche Problem im Laboratorium durch die Einwirkung von isolierten und bekannten Faktoren zu untersuchen. Um unsere Arbeitsweise möglichst vereinfachen zu können, haben wir diesmal nur den Wassergehalt der Versuchsböden variiert und die Proben bei der gleichen optimalen Temperatur von 25° C gehalten. Die Resultate ergeben also nicht den räumlichen Verlauf der Optimumkurve im Sinne des R-Gesetzes, sondern sie stellen den Einfluß der verschiedenen Grade der Bodenfeuchtigkeit auf der X-Achse der optimalen Temperatur in der Ebene dar.

Untersuchungsmethodik.

Bei den Untersuchungen wurden folgende Biofaktoren berücksichtigt:

1. Zahl der Bakterien und der Pilze wurde mittels der Plattenmethode bestimmt.

2. Der Gehalt an leichtlöslicher Phosphorsäure und an leichtlöslichem Kali wurde nach der Methode von Sigmond und teilweise nach der Aspergillusmethode bestimmt.

3. Zur Bestimmung des Nitrat- und Ammoniakgehaltes diente die Mikrokjeldahl-Methode.

Außerdem wurden auch die pH-Werte, der Humusgehalt und die Wasserkapazität nach der üblichen Weise ermittelt (11).

Beschreibung der Versuche.

Zweck der Versuche war, den unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Mikroorganismentätigkeit und der Mobilisierung der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze nachzuweisen. Außerdem haben wir auch die Nitrifikation und Ammonifikation berücksichtigt. Die Optimumgrenze des Wassergehaltes des Bodens liegt für die meisten Bodenmikroorganismen bei 66—80% der absoluten Wasserkapazität. Dementsprechend haben wir die Feuchtigkeitsgrade bis zur Optimumgrenze und auch noch darüber hergestellt.

Die Temperatur wurde nicht variiert. Die Versuche werden im allgemeinen bei optimaler Temperatur, also bei 25° C in Thermostaten gehalten.

Versuch 1.

Bei diesem Versuch haben wir 2 Böden benutzt. Ein Boden stammte von einer unserer ständigen landwirtschaftlichen Versuchsflächen B/12 in Fürged und der andere aus dem Botanischen Garten der Universität in Sopron.

Der Boden der Versuchsfläche B/12 ist ein mit wenig Sand vermischter Lehmboden mit der Wasserkapazität 32%, pH = 7,5, Humusgehalt 2,8%.

Der Boden aus dem Botanischen Garten hat die gleiche Beschaffenheit, ist jedoch etwas mehr mit Sand vermengt. Seine charakteristischen Daten sind die folgenden: Wasserkapazität 30%, pH = 6,90, Humusgehalt 1,4%.

Die Untersuchungen erfolgten nach dem 1., nach dem 3. und nach dem 12. Monat.

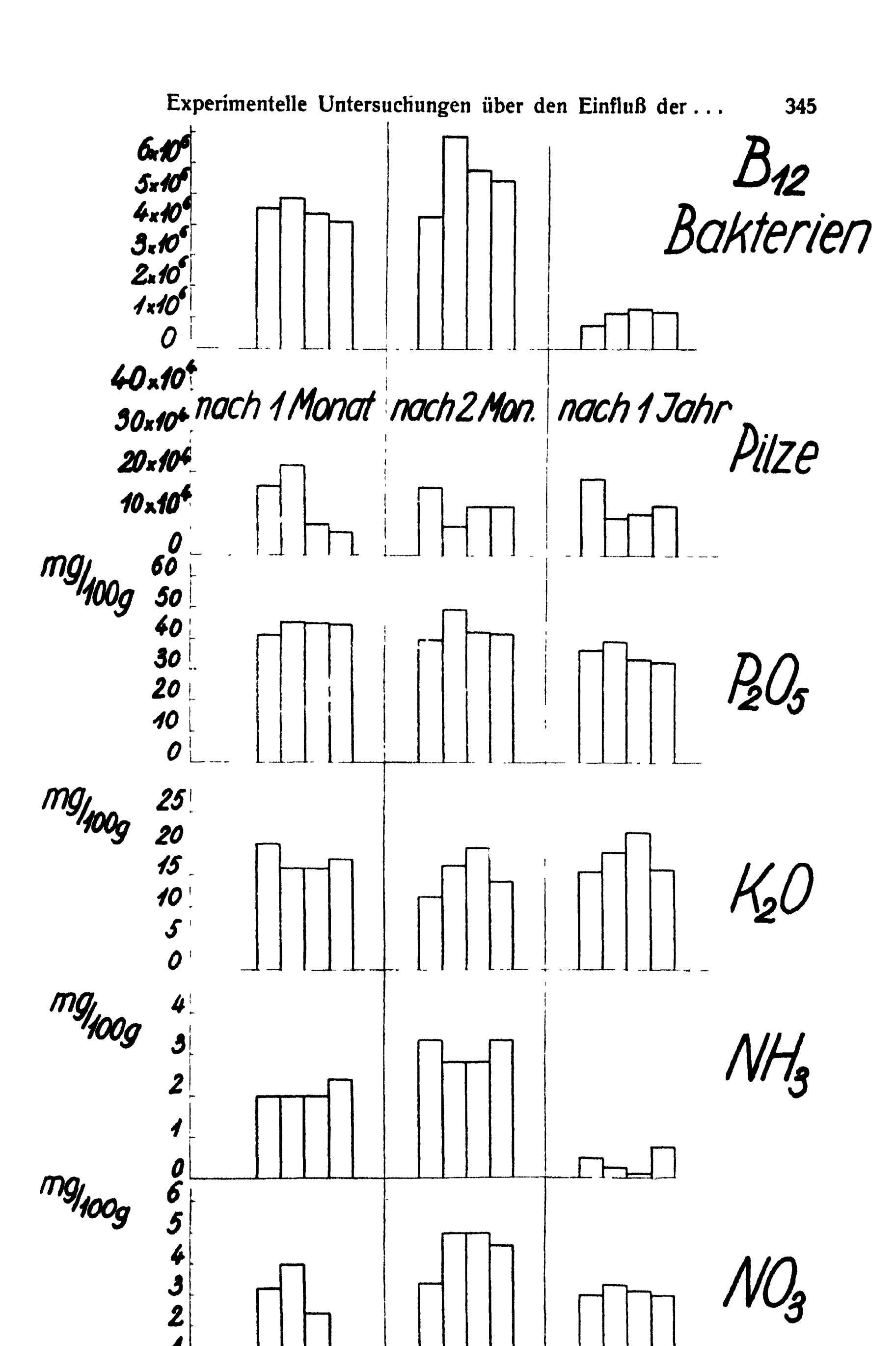


Abb. 1. Der Zusammenhang zwischen der Mikroorganismentätigkeit und dem P_2O_5-, K_2O-, NH_3-, NO_3-Gehalt des Versuchsbodens B/12.

Die Ergebnisse mit dem Versuchsboden B 12 stellen wir ausführlich in der Abb. 1 dar. Um auch die Größenordnungen der einzelnen Versuchselemente charakterisieren zu können, teilen wir die Ergebnisse dieses Versuches auch tabellarisch mit (s. Tab. 4).

Tabelle 4. Versuchsboden B/12.

Zeitpunkt der Untersuchung	Wassergehalt in Gew.-%	Wassergehalt in % der Wasserkapazität	Gesamt-Bakterienzahl	Pilze	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	NH_3 mg/100 g	NO_3 mg/100 g
Nach 1 Monat	8	25	45700000	170000	41,31	20,24	2,00	3,20
	18	56	48800000	220000	45,93	16,32	2,00	4,00
	23	72	44100000	75000	45,41	16,32	2,00	2,40
	28	88	42200000	55000	45,14	17,68	2,40	1,20
Nach 3 Monaten	8	25	43200000	170000	39,78	11,71	3,36	3,36
	18	56	69700000	70000	49,29	16,69	2,80	5,04
	23	72	58500000	120000	42,68	19,57	2,80	5,04
	28	88	55500000	120000	42,25	14,14	3,36	4,60
Nach 12 Monaten	8	25	7500000	191000	36,96	15,30	0,46	3,00
	18	56	12300000	93000	39,77	18,75	0,25	3,30
	23	72	13500000	100000	33,83	22,10	0,17	3,11
	28	88	12600000	123000	32,84	16,15	0,78	3,00

In der Abb. 2 bringen wir die Durchschnittsdaten sämtlicher Beobachtungsperioden. Hier werden auch die Versuchsergebnisse des Versuchsbodens vom Botanischen Garten, ebenfalls auf Grund der Durchschnittsdaten, dargestellt. Diese Durchschnittsdaten sind auf Grund der Untersuchungsergebnisse der gleichen Versuchsperioden abgeleitet worden.

Die nähere Betrachtung von Abb. 1 zeigt uns zunächst, daß das Optimum der Bakterientätigkeit nach den 1. und nach den 3. Monaten bei dem angewendeten Feuchtigkeitsgrade sich bei 56% der Wasserkapazität eingestellt hat. Nach 12 Monaten hat sich das Bild insoweit verändert, daß das Optimum bei 72% aufgetreten ist. Daß der Bakteriengehalt infolge des Verbrauches des organischen Stoffgehaltes sich stark vermindert hat, entspricht den allgemeinen Feststellungen, auf welchen Umstand wir in unseren diesbezüglichen Arbeiten (9, 12) bereits hingewiesen haben. Das Optimum der Bodenpilze hat sich nach dem 3. und nach dem 12. Monat bei 25% der Wasserkapazität gezeigt. In unserer oben erwähnten Arbeit (9), bei der wir mit kleineren Feuchtigkeitsunterschieden gearbeitet haben, wurde die Optimumgrenze der Bodenpilze bei 40% der Wasserkapazität gefunden. Daß sich hier diese Grenze niedriger eingestellt hat, läßt sich dadurch begründen, daß bei diesen Versuchen große Feuchtigkeitsintervalle (25, 56%) angewendet wurden.

Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt und P_2O_5-Gehalt ist sehr deutlich. Die Optimumgrenzen der beiden Biofaktoren stimmen zeitlich vollkommen überein.

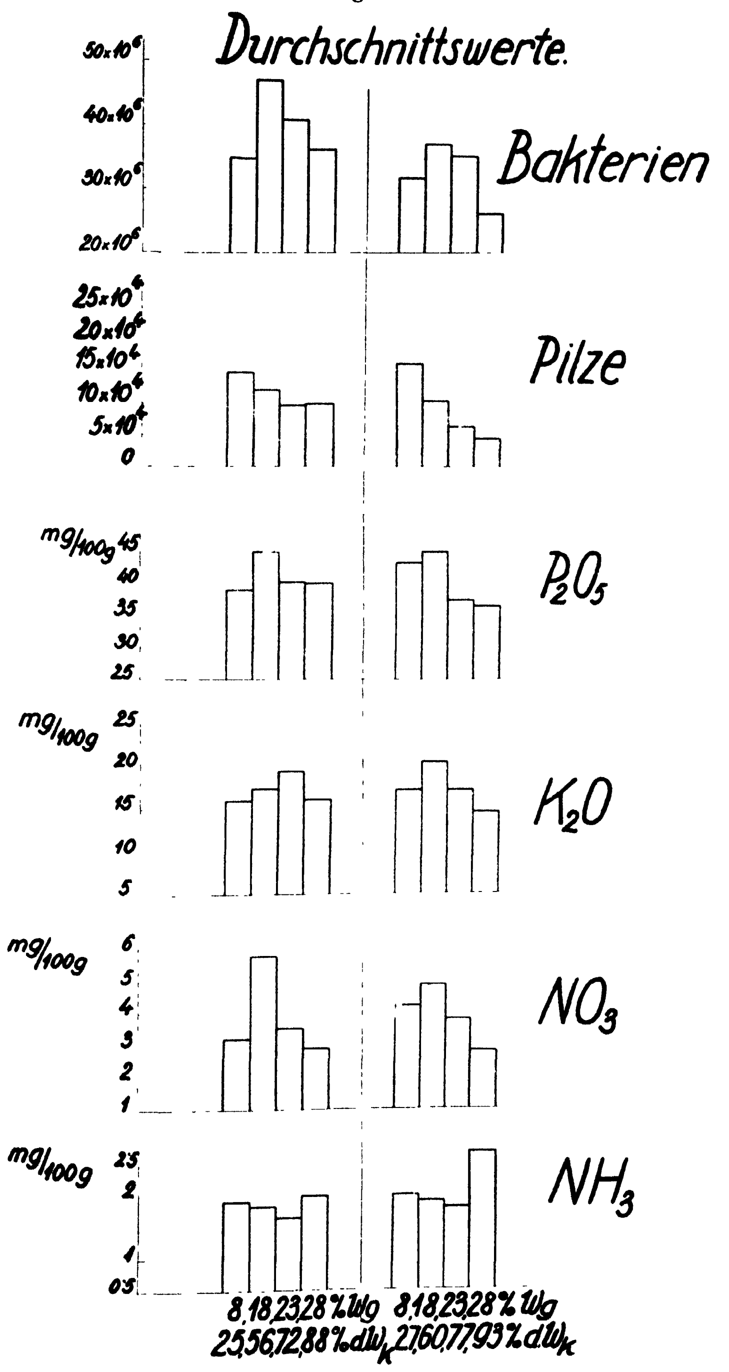


Abb. 2. Wie Abbildung 1. Zusammengestellt auf Grund der Durchschnittsdaten der Versuchsflächen B/12 (links), und Bot. Garten (rechts).

Das Verhalten der leichtlöslichen Kalisalze zeigt im großen und ganzen ein ähnliches Bild, mit dem Unterschied, daß der Zusammenhang mit dem Verhalten der Bodenbakterien erst nach dem 3. und 12. Monate sich klar gezeigt hat. Das Optimum des K_2O-Gehaltes stimmt jedoch nicht vollkommen mit dem Optimum des Bakteriengehaltes überein, da hier eine Verschiebung (über 72 % der Wasserkapazität) stattgefunden hat. Diese kleineren Unstimmigkeiten lassen sich aber durch die großen Unterschiede zwischen den einzelnen Feuchtigkeitsstufen hinreichend erklären.

Bezüglich des Verhaltens des Nitratstickstoffes möchten wir

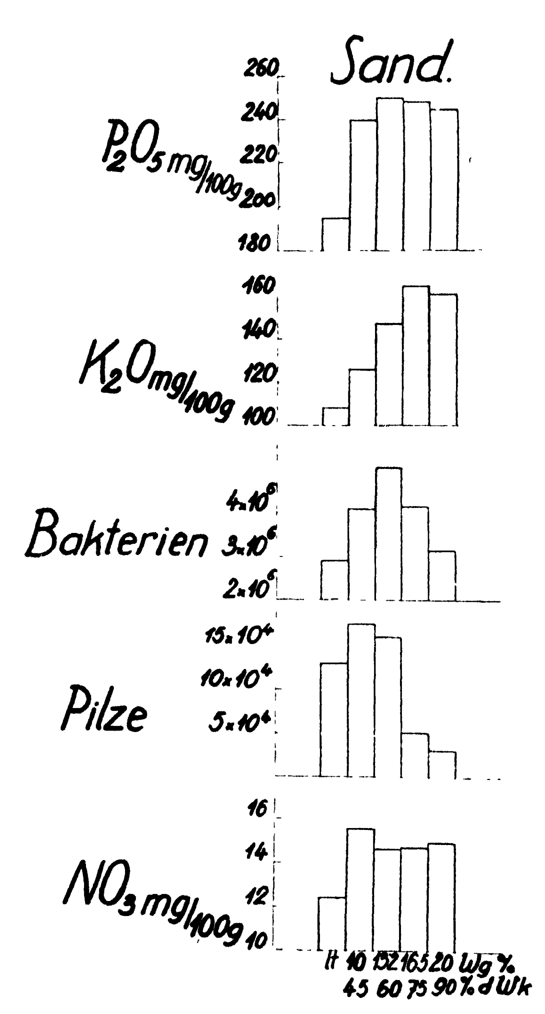


Abb. 3.
Untersuchungsergebnisse des Sandbodens nach 3 Wochen.
lt = lufttrockene Probe.

vor allem feststellen, daß auch das Optimum dieses Biofaktors sehr gut mit der Optimumlage der Bakterien zusammenfällt. Das Verhalten des Ammoniakstickstoffes zeigt zu dem Nitratstickstoff entgegengesetztes Verhalten.

Auf diesen Umstand haben wir im Schrifttum bereits hingewiesen (11). In der letzten Zeit wurde dieses antagonistische Verhalten experimentell durch die Arbeiten von Sallinger und Hwang (13) und Hwang und Frank (14, 15) bewiesen und aufgeklärt.

Die hier besprochenen Zusammenhänge sind noch deutlicher aus der Abb. 2 zu ersehen. Da diese Abbildung auf Grund von Durchschnittswerten der einzelnen Versuchsperioden zusammengestellt wurde, wobei zwischen den zerstreuten Werten der Einzeluntersuchungen bereits ein gewisser Ausgleich stattgefunden hat, so zeigt sie auch recht klar die bereits besprochenen Zusammenhänge.

Der Zusammenhang zwischen dem Bakteriengehalt und dem Verhalten der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze tritt hier besonders deutlich hervor. Scharf zeigt sich auch das Optimumbereich des Nitratstickstoffes und das entgegengesetzte Verhalten des Ammoniakstickstoffes, welcher Umstand auf den starken Einfluß des Wassergehaltes auf die Nitrifikation hinweist. Das entgegengesetzte Verhalten des Ammoniakstickstoffes ist leicht zu verstehen, wenn man bedenkt, daß, falls günstige Bedingungen für die Nitrifikation vorherrschen, dieser Vorgang in der ersten Reihe auf Kosten des Ammoniakstickstoffes vollzogen wird.

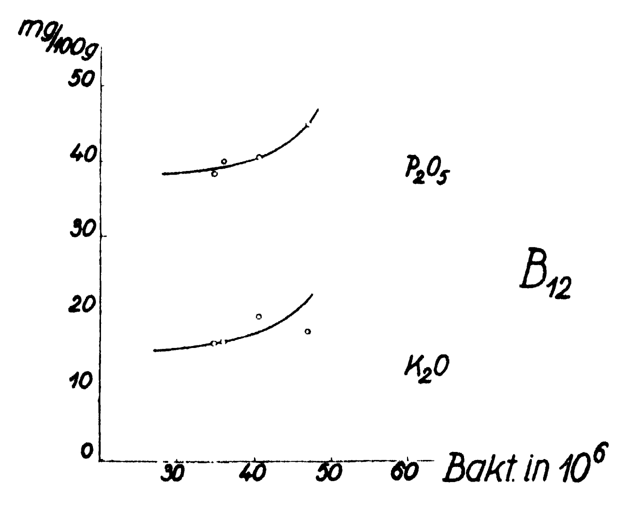


Abb. 4.

Die kurvenmäßige Darstellung des Zusammenhanges zwischen Bakteriengehalt und dem leichtlöslichen P_2O_5 und K_2O-Gehalt. Boden der Versuchsfläche 12.

Versuch 2.

Bei diesem Versuche wurde ein Sandboden angewendet, dessen charakteristische Daten die folgenden sind: Wasserkapazität = 22 %, pH = 6,4.

Bei diesem Versuch trat in der Versuchsmethodik insoweit eine Änderung ein, daß hier die Phosphor- und Kalisalze mit der Aspergillusmethode bestimmt wurden. Die Inkubationszeit betrug 3 Wochen. Nach dieser Zeit wurden die Analysen durchgeführt. Die Feuchtigkeitsstufen betrugen 45, 60, 75 und 90 % der Wasserkapazität. Ferner wurde auch eine lufttrockene Bodenprobe untersucht.

Die Ergebnisse sind in der Abb. 3 dargestellt. Die Betrachtung dieser Abbildung beweist uns besonders überzeugend die ausgesprochene biogene Natur des Verhaltens der Phosphor- und Kalisalze im Boden.

Es sei auf die besonders deutlichen und großen Unterschiede der leichtlöslichen P_2O_5- und K_2O-Salze der lufttrockenen inaktiven und der befeuchteten — also biologisch tätigen — Bodenproben hingewiesen.

Vergleichende Besprechung der Versuchsergebnisse.

Die Ergebnisse der Versuche, wenn man sie mit den Resultaten der Untersuchungen in der freien Natur in Vergleich setzt, zeigen einwandfrei den näheren Zusammenhang zwischen der Mikroorganismentätigkeit und zwischen der Gestaltung der Mengenverhältnisse der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze in dem Boden. Wir haben gesehen, daß genau, wie durch die Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens, die Mengenverhältnisse und die Intensität der Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens beeinflußt werden können. Man kann durch die so erzielten verschiedenen Grade ihrer Bioaktivität auch die Mengenverhältnisse jener Produkte beeinflussen, auf deren Gestaltung sie mittelbar oder unmittelbar durch ihre Lebenstätigkeit einwirken. Um das Gesagte noch deutlicher zu erläutern und um die Gesetzmäßigkeit des gesamten Vorganges noch mehr hervorzuheben, haben wir in den Abb. 4 und 5 die jetzt besprochenen Ergebnisse kurvenmäßig dargestellt.

Wir haben hierbei auf die X-Achse die Bakterienzahlen auf die y-Achse die zugehörigen Phosphor- und Kalimengen aufgetragen. Als Grundlage wurden die Durchschnittsdaten gewählt.

Auch die Abbildung zeigt uns, von gewisser Streuung einzelner Punkte abgesehen, den Zusammenhang zwischen den Mengenverhältnissen der Bodenbakterien und der Gestaltung der jeweiligen Werte der Phosphor- und Kalisalze im Boden.

Auf Grund dieser Versuche läßt sich natürlich der gesamte Wirkungsmechanismus noch nicht restlos erklären. Die Art und Weise, wie die Mobilisierung der schwerlöslichen Phosphor- und Kalisalze durch die mittelbare oder unmittelbare Einwirkung der Mikroorganismen des Bodens in ihren Einzelheiten erfolgt, ist eine Frage, die noch weiterer Untersuchungen bedarf. Desgleichen

bedarf es auch weiterer Forschungen, wie dann diese experimentellen Ergebnisse in die komplizierten Verhältnisse der freien Natur, wo das Zustandekommen der klaren Zusammenhänge das Mitwirken einer Reihe verschiedener Faktoren erschweren kann, übertragen werden können.

Die Untersuchungsergebnisse könnten aber auch vom praktischen Standpunkte aus eine gewisse Bedeutung haben. Sie zeigen uns, daß der biologische Bodenzustand für die Mobilisierung der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalse aus den schwerlöslichen Verbindungen von gewisser Bedeutung ist. Wir können vielleicht durch entsprechende Bodengare, außer der Stickstoffernährung, auch die Phosphor- und Kaliversorgung unserer Kulturpflanzen verbessern. Um sich über den Phosphor- und Kalihaushalt eines Bodens vom physiologischen Standpunkte aus schon vorher unterrichten zu können, wird es auch möglich sein, die biologische Charakteristik heranzuziehen. Über die Einzelheiten des Problems sind noch weitere Untersuchungen im Gange.

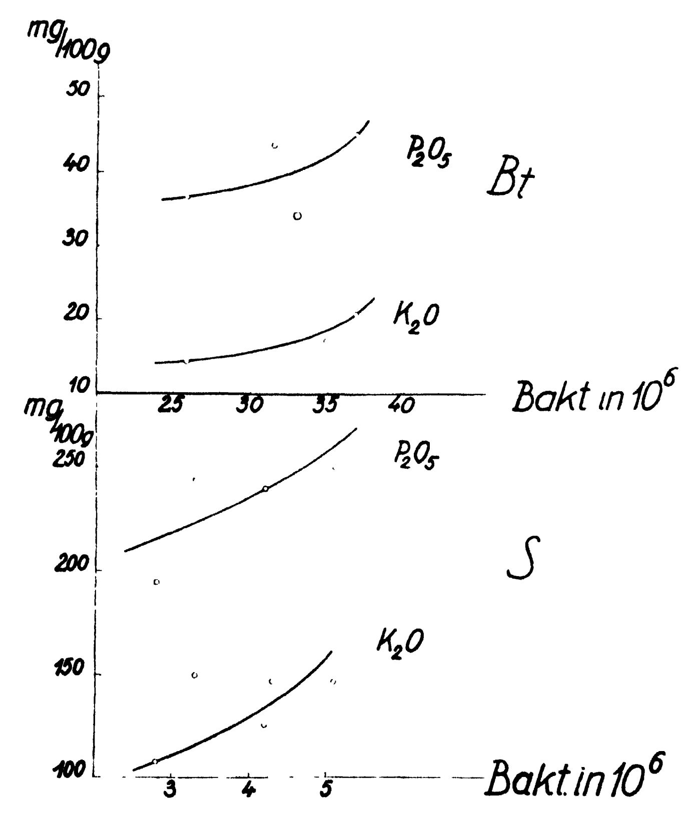


Abb. 5.

Wie Abbildung 4. Bt — Boden der Versuchsfläche im Botanischen Garten, S = Sand.

Zusammenfassung.

Auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse läßt sich feststellen, daß durch jene experimentellen Methoden und Eingriffe, die die Mikroorganismentätigkeit des Bodens beeinträchtigen, auch die Produkte ihrer Tätigkeit, in diesem Falle also die Mengenverhältnisse der leichtlöslichen Phosphor-, Kali- und N-Verbindungen, wesentlich beeinflußt werden können. Damit wurde der Beweis der experimentellen biologischen Beeinflussung der Kreislaufvorgänge der leichtlöslichen Phosphor- und Kalisalze der Böden erbracht.

Schrifttum.

1. Fehér, D. u. M. Frank: Untersuchungen über den periodischen Kreislauf des Stickstoffes, des Phosphors und des Kaliums in den Waldböden. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **43**, 1936, 5—36.
2. Fehér, D. u. M. Frank: Mikrobiologische Untersuchungen über den dynamischen Kreislauf des Stickstoffes, des Phosphors, des Kaliums in den Ackerböden. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **1**, 1936, 196—219.
3. Fehér, D., G. A. Manninger, u. M. Frank: Der Ackerboden als biodynamisches System. Ebenda, **4**, 1937, 243—276.
4. Fehér, D.: Untersuchungen über den periodischen Kreislauf des Phosphors in den Waldböden. D. Phosphorsäure, Berlin, **4**, 1934, 508—529
5. Fehér, D.: Der periodische Kreislauf des Phosphors in den Waldböden. Silva, Berlin, **23**, 48, 1935, 41—44.
6. Fehér, D.: Der periodische Kreislauf des Phosphors und des Kaliums in den Waldböden. Ebenda, **25**, 43, 1937, 329—334.
7. Fehér, D.: Beiträge zum Problem des mikrobiologischen Kreislaufes des Phosphors in dem Boden. D. Phosphorsaure, Berlin, **5**, 1935, 706—713.
8. Fehér, D.: Die biologischen Lebensvorgäng des Waldbodens in ihrem kausalen Zusammenhange mit den Klimafaktoren. (IX. Kongreß der Forstlichen Forschungsanstalten, 1936.)
9. Fehér, D. u. M. Frank: Experimentelle Untersuchungen uber den Einfluß der Temperatur und des Wassergehaltes auf die Tatigkeit der Mikroorganismen des Bodens. Arch. Mikrobiol., Berlin, **8**, 1937, 249—287; **9**, 1938, 193—222.
10. Fehér-Kogutowicz-Kreybig-Manninger: A szantóföld okszerü müvelése kapcsolatban a talaj életével, vizgazdálkodásával és a magyar klimával. (Falu Magyar Gazda és Földmivesszövetség, Budapest, 1938.)
11. Feher, D.. Untersuchungen über die Mikrobiologie des Waldbodens. Springer, Berlin, 1933.
12. Fehér, D.: Untersuchungen uber die biodynamischen Grundlagen der Bodenatmung. Z. Forst- u. Jagdwesen, Berlin, **70**, 1933, 2.
13. Sallinger, H. u. Y. Hwang: Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Stickstoffumsetzungen und Aziditatsanderungen in humosen Böden. Bodenkunde u. Pflanzenernahr., Berlin, **11**, 1938, 1—31.
14. Hwang, Y. u. M. Frank: Untersuchungen uber die gegenseitige Beeinflussung der Ammonifikation, Nitrifikation und der Bodenazidität in humusreichen Böden. Zbl. Bakt., Jena, **99**, 1938, 97—106.
15. Hwang, Y. u. M. Frank: Mikrobiologische und biochemische Untersuchungen über das Auftreten von zwei Maxima der Ammoniakanhäufung im Boden. Arch. Mikrobiol., Berlin, **9**, 1938, 469—476.
16. Várallyay, Gy.: Veränderungen im Ammoniak- und Nitratgehalt des Bodens. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **2**, 1937, 192—198.
17. Fehér, D. u. H. Pallitschek: Untersuchungen uber den Einfluß der künstlichen Beregnung auf den biologischen Bodenzustand und auf den Ernteertrag. Landw. Jb. (im Druck).

Untersuchungen an Mais über die Beziehungen zwischen dem Trockensubstanzaufbau und der Kohlensäureausscheidung durch die Wurzeln.

Von **F. Alten** und **R. Gottwick.**

Arbeiten aus der Landwirtschaftlichen Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikats, Berlin-Lichterfelde.

Eingegangen: 24. Januar 1939.

In dem Vortrag von Dr. D'Ans: „Physikalisch-chemische Betrachtungen zu pflanzenphysiologischen Fragen, ausgehend von Modellversuchen" (1), wurde schon auf Wasserkulturversuche der Versuchsstation Lichterfelde hingewiesen. Unsere Versuche zu Mais waren angesetzt worden, um die Beziehungen zwischen der Kohlensäureausscheidung der Wurzeln und der Bildung der Trockensubstanz sowie der Ionenaufnahme zu prüfen.

Das Bestreben, besonders eine längere Vegetationszeit zu erfassen, veranlaßte uns, die Versuchsgefäße so zu entwickeln, daß der notwendige luftdichte Abschluß der Nährlösung und der darin wachsenden Wurzeln auch bei dem während der Versuchsdauer zu erwartendem Dickenwachstum des Stengels gewahrt blieb. Aus diesem Grunde wurde an Stelle der sonst angewandten Abdichtung mit Kakaobutter und Paraffinöl, wie sie von Lundegardh bei ähnlichen Versuchen benutzt wird (2), die Abdichtung mit Quecksilber vorgenommen.

In einem Vorversuch hatte sich die Bedeckung der Wurzeln und des Sprossenansatzes mit Quecksilber als unschädlich gezeigt.

In Abbildung 1 ist das Schema der Versuchsgefäße gezeichnet. In der Flasche, die zur Aufnahme der Nährlösung und der Wurzeln dient, ist ein bis zum Boden der Flasche reichendes Glasrohr und ein Entlüftungskugelrohr

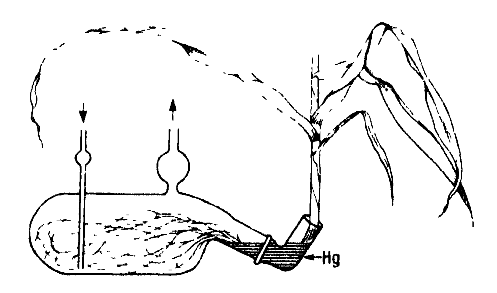


Abb. 1.
Schema eines Vegetationsgefäßes.

eingeschmolzen. An einer Seite des Gefäßes ist ein Tubus mit Schliff angeschmolzen, in dem das zur Aufnahme der Pflanze bestimmte Bogenstück mit entsprechendem Schliff eingepaßt ist.

Die Pflanzen sind in Buchenholzsägespänen vorgezogen und ungefähr 14 Tage nach dem Auflaufen in die Versuchsgefäße verpflanzt worden. Vor dem Einpflanzen wurde das Endosperm entfernt, um der Schimmelpilzbildung

entgegenzuarbeiten. Die Pflanze wurde mit der Blattspitze voran durch das Bogenstück geschoben, bis sich der Wurzelanfang an der tiefsten Stelle des Bogens befand. Hierauf wurde das Bogenstück mit den Wurzeln vorsichtig in das Vegetationsgefäß eingefügt und befestigt und zur Herstellung eines gasdichten Abschlusses zwischen Sproß und Wurzel Quecksilber bis zur Ausfüllung des Glasbogens eingefüllt. Die Nährlösung wird durch das Einfüllrohr zugegeben, wobei die Luft durch das obere Kugelrohr verdrängt wird.

Zwischen Luftpumpe und Versuchsgefäß sind außer einem Windkessel ein Absorptionsturm mit KOH und Natronkalk und eine Kontrollvorlage mit Barytlauge zwischengeschaltet. Nachdem an das Kugelrohr die mit Barytlauge beschickten Vorlagen angeschlossen sind, wird ein langsamer Luftstrom durch die Versuchsgefäße gedrückt. Für die Versuche benutzten wir zunächst eine Nährlösung, die sich auch bei anderen Wasserkulturversuchen sehr gut bewährt hat. Die Nährlösung für die ersten Versuche, in denen wir die Werte für die Beständigkeit des Verhältnisses Trockensubstanz : CO_2-Ausscheidung besimmten, hatte folgende Zusammensetzung je Liter:

Nährstoff	mval	Form des Salzes	mmol
N	6 N	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$	3
K	6 K	K_2SO_4	3
P	3 $PO_4/3$	$CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$	0,5
Mg	1 Mg/2	$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$	0,5
Fe^{**}	1 Fe/2	$FeSO_4$	0,5
(Fe^{***}	1 Fe/3	$Fe_2(SO_4)_3$	0,3)
Ca	10 Ca/2	$CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$	5,0

Die Nährlösung entsprach demnach einer $^1/_{80}$ molaren Losung.

Bei den spater durchgeführten Versuchen über die Prüfung der Zusammenhänge zwischen Düngung, Trockensubstanzaufbau und CO_2-Ausscheidung der Wurzel wurden in dieser Nährlösung nur Kaliumsulfat und Kalziumnitrat entsprechend der Versuchsaufgabe abgestuft gegeben. Eine Zugabe indifferenter Salze, um isotonisch zu arbeiten, fand nicht statt.

Beim ersten Versuch entwickelte sich die eine Pflanze etwas kräftiger als die andere, ohne daß an ihr Ernährungsstörungen oder andere Mangelerscheinungen festzustellen waren. Wir hatten somit Gelegenheit, zu prüfen, in welchem Umfange die Beziehungen zwischen Entwicklung der Versuchspflanzen und der CO_2-Ausscheidung trotz der individuellen Unterschiede der 2 Versuchspflanzen konstant blieben.

Zu Beginn des Versuches wurden 10 gleichentwickelte Pflanzen ausgesucht und gewogen. Zwei Pflanzen wurden in die beiden Versuchsgefäße eingesetzt, die übrigen 8 Pflanzen wurden einzeln getrocknet und das Mittel dieser Trockensubstanzgehalte bei der Berechnung des Trockengewichts der 2 Versuchspflanzen zugrundegelegt. In der Gesamttrockensubstanz der 8 Pflanzen wurde ferner der Gehalt an N, P_2O_5, K_2O, CaO und MgO bestimmt. Bei der Auswertung der Nährstoffaufnahme wurden diese Werte für die Berechnung des Anfangsgehaltes der beiden Versuchspflanzen eingesetzt.

Die Ergebnisse des 1. Versuches sind in Tafel 1 zusammengestellt. Die Zahlen für die Erntegewichte und für die CO_2-Ausscheidung bestätigen die während des Versuches festgestellten Unterschiede zwischen den beiden Versuchspflanzen. Während die Anfangsgewichte der beiden Pflanzen nahezu gleich waren, wurde bei der Ernte festgestellt, daß das Erntegewicht und die ausgeschiedene Menge Kohlensäure der Versuchspflanze 2 nur

Tafel 1.
Erträge und CO_2-Ausscheidung des ersten Versuchs.

			Pflanze 1	Pflanze 2	Pflanze 1 : Pflanze 2
1.	Anfangsgewicht, trocken	g	0,227	0,235	1 : 1,04
2.	Endgewicht, trocken	g	3,042	2,018	1 : 0,66
3.	Zuwachs, trocken	g	2,815	1,784	1 : 0,63
4.	% Asche 1		12,42	12,42	
	% Asche 2		8,72	11,52	
5.	Organ. Substanz, trocken	g	2,776	1,786	1 : 0,64
6.	Organ. Substanz, Zuwachs, trocken	g	2,579	1,581	1 : 0,61
7.	CO_2-Ausscheidung	mval	40,0	27,2	1 : 0,68
8.	CO_2-Ausscheidung	g	0,88	0,60	1 : 0,68

2/3 der entsprechenden Werte der Versuchspflanze 1 betragen. Dasselbe Verhältnis besteht auch zwischen den Werten für den Zuwachs an Trockensubstanz und organischer Substanz der Pflanzen 1 und 2. Das Mittel der in Spalte 4 der Tafel 1 aufgeführten Einzelwerte weicht bis zu 3% von den Einzelwerten ab. Diese Übereinstimmung ist im Hinblick auf die Zahl und die Natur der Maispflanzen befriedigend.

Aus den Werten für Erntegewicht, Zuwachs an Trockengewicht, organische Substanz und Zuwachs an organischer Substanz und den in Reihe 7 aufgeführten Werten für die festgestellte CO_2-Ausscheidung haben sich die in Tafel 2 aufgeführten Werte

Tafel 2.
Verhaltnis zwischen Ertrag und Kohlensäureausscheidung.

Bezugsgröße	Auf 100 g wurden ausgeschieden val $CO_2/2$			Pflanze 1 : Pflanze 2
	Pflanze 1	Pflanze 2	Mittel	
Gesamtgewicht	1,315	1,348	$1{,}33 \pm 0{,}02$	1 : 1,025
Zuwachs an Gesamtgewicht	1,421	1,525	$1{,}47 \pm 0{,}05$	1 : 1,073
Organische Substanz	1,441	1,523	$1{,}48 \pm 0{,}04$	1 : 1,057
Zuwachs an organ. Substanz	1,551	1,720	$1{,}64 \pm 0{,}08$	1 : 1,109

ergeben. Aus den Werten geht hervor, daß unabhängig von den Unterschieden im Erntegewicht (s. Tafel 1) auf 100 g Gesamtgewicht bei der Pflanze 1 1,315 val $CO_2/2$ und bei der Pflanze 2 1,348 val $CO_2/2$ ausgeschieden wurden. Diese Werte stimmen sehr gut überein, die Abweichung des Mittelwerts beträgt nur 1,2%. Die auf den Zuwachs an Gesamtgewicht, auf die organische Substanz und auf den Zuwachs an organischer Substanz bezogenen Verhältniswerte der beiden Pflanzen stimmen ebenfalls noch befriedigend überein, wenn auch die Abweichung des Mittels als Folge der Fehlerfortpflanzung bis zu 5,2% beträgt. Das Ergebnis des 1. Versuches zeigt, daß bei gleicher Ernährung und gleichen Wachstumsverhältnissen an den Wurzeln für den Aufbau von Trockensubstanz übereinstimmende Mengen Kohlensäure ausgeschieden werden.

Bei der Durchführung der weiteren Versuche kam es nun vor allem darauf an, die Einflüsse der verschiedenen Wachstumsverhältnisse bei gleicher Ernährung auf das Trockensubstanz: CO_2-Verhältnis zu prüfen. Wenn wir alle Versuchsreihen unserer Betrachtung zugrundelegen, werden zwei Gruppen herausgehoben. Die erste Gruppe umfaßt alle Versuche, die in den lichtärmeren Monaten durchgeführt wurden. Ihr Hauptmerkmal ist eine langsame Entwicklung der Versuchspflanzen mit entsprechend geringen Erträgen und geringer CO_2-Ausscheidung. In der zweiten Gruppe haben wir die Versuche, die in den Sommermonaten herangewachsen sind. Die Entwicklung der Versuchspflanzen im Sommer war selbstverständlich schneller als in den lichtarmen Monaten. Die Erträge an Trockensubstanz stiegen teilweise bis zum 4- und 5fachen gegenüber den Versuchen der Wintermonate an, und auch die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure betrug oft das 3—4fache der in Gruppe 1 festgestellten Mengen.

Der zu Beginn beschriebene Versuch gehört mit seiner Versuchsdauer vom 7. Februar—25. März zur 1. Gruppe. Als Mittel für die CO_2-Menge, die für 100 g Trockensubstanz ausgeschieden wird, ergibt sich für Gruppe 1 (lichtarme Versuchszeit) 1,59 val $CO_2/2 = 35{,}0$ g CO_2, für Gruppe 2 (lichtreiche Versuchszeit) 0,75 val $CO_2/2 = 16{,}5$ g CO_2.

Wenn auch die Abweichungen der einzelnen Werte innerhalb der Gruppen 1 und 2 zum Teil sehr beachtlich sind, ist der Unterschied zwischen den beiden Werten 1 und 2 doch so groß, daß der Einfluß der verschiedenen Lichtmengen auf die CO_2-Ausscheidung klar zu erkennen ist. Wenn wir annehmen, daß die Trockensubstanz um ein Beispiel zu nennen „Zucker" rund 40% Kohlenstoff entsprechend 3,33 g-Atom C enthält, dann errechnet sich auf 100 g CO_2, die in der Trockensubstanz festgelegt sind, eine CO_2-Ausscheidung von 24 g in der Gruppe 1 (lichtarme Versuchszeit) und von 11,3 g CO_2 in der Gruppe 2 (lichtreiche Versuchszeit).

Nachdem so der Einfluß des Lichts auf die Entwicklung der Pflanzen und der damit verbundenen CO_2-Ausscheidung geprüft und mit bestimmten Werten belegt werden konnte, untersuchten wir den Einfluß verschiedener Nährlösungen auf die CO_2-Produktion in ihrem Zusammenhang mit der Trockensubstanzbildung. Der Versuch wurde nach folgendem Schema angesetzt:

Die Entwicklung der Pflanzen verlief im allgemeinen gut. Unterschiede waren hauptsächlich zwischen den Gruppen 3 N und 6 N festzustellen. Dagegen waren Unterschiede, die sich auf die steigende K-Düngung zurückführen ließen, nicht so deutlich zu beobachten. Um die Entwicklung der Pflanzen nicht zum vorzeitigen Stillstand zu bringen, wurde jedes Versuchsgefäß 6 Wochen nach Beginn mit der ihm entsprechenden Gabe von N, P, K und Mg nachgedüngt. Diese Nachdüngung wirkte in allen Versuchsreihen gleichmäßig, ohne daß vorhandene Unter-

Tafel 3.

Versuchsplan. Einfluß verschiedener Nährstoffgaben auf das Verhältnis Trockensubstanz : CO_2-Ausscheidung

Grunddüngung: 3 mval $PO_4/3$ + 1 mval $Mg/2$ + 0,5 mval $Fe/3$ + 5 mmol$CaSO_4$.

+ 3 mval N	+ 6 mval N
Reihe 1 + 1 mval K	Reihe 5 + 1 mval K
Reihe 2 + 2 mval K	Reihe 6 + 2 mval K
Reihe 3 + 4 mval K	Reihe 7 + 4 mval K
Reihe 4 + 6 mval K	Reihe 8 + 6 mval K

$N = Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$ $Mg = MgSO_5 \cdot 7\ H_2O$
$K = K_2SO_4$ $Fe = Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9\ H_2O$
$P = CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$ $Ca = CaSO_4$

schiede im Größenwachstum und Farbe verwischt wurden. Die bei der folgenden Versuchsbeschreibung angewandten Bezeichnungen entsprachen somit stets der doppelten Menge in mval je Gefäß (3 N 1 K = 6 mval N 2 mval K).

Die Abbildung 2 zeigt die verbesserte Form der Gefäße.

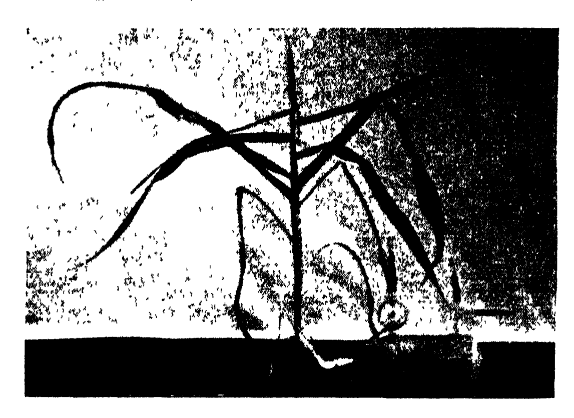


Abb. 2.
Einzelgefäß in verbesserter Form.

Die Zuleitungsröhre ist als T-Stück ausgebildet. Die eine Abzweigung ist an die Luftleitung angeschlossen, und die andere Röhre ist zum Nachfüllen von destilliertem Wasser oder von Nährlösung bestimmt. Zwischen den Versuchsgefäßen und den Absorptionsvorlagen ist ein Erlenmeyerkolben als Sicherheitsflasche angeschlossen.

Die Abbildung 3 zeigt die Gesamtanlage des Versuches in der zweiten Hälfte der Wachstumsperiode. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Aus ihnen geht zunächst hervor, daß die N-Wirkung einen deutlichen Einfluß auf die Masse der erzeugten Trockensubstanz gehabt hat. Die Steigerung der Kaligabe konnte sich bei niedriger N-Düngung nur schwach auswirken. Die Übereinstimmung der beiden Parallelen ist bei der niedrigen N-Düngung schlechter als bei hoher N-Düngung. Bei den Werten für CO_2, die während der Vegetationsperiode ausgeschieden wurde, ist der Einfluß der wechselnden Düngung ebenfalls zu erkennen.

Tafel 4.
Zusammenstellung der Erntegewichte und CO_2-Ausscheidung des Düngeversuchs W 23.

Düngungsreihe	Gefäß	Sproß, frisch	Trockensubstanz	Trockensubstanz	Wurzel, trocken	Ges-Ernte, trocken	Ausgangsgewicht	Zuwachs	Ausgeschiedene CO_2	
		g	%	g	g	g	g	g	mval	g
3 NP	1	21,5	36,7	7,90	1,70	9,60	0,11	9,49	115,1	2,53
1 K	9	29,1	26,1	7,60	2,93	10,53	0,11	10,42	113,8	2,50
3 NP	2	33,5	31,6	10,60	2,82	13,42	0,12	13,30	128,2	2,82
2 K	10	38,2	25,3	9,65	2,74	12,39	0,17	12,22	94,2	2,07
3 NP	3	24,7	23,3	5,76	1,02	6,78	0,16	6,62	86,0	1,89
4 K	11	39,4	27,5	10,85	1,50	12,32	0,15	12,17	91,1	2,00
3 NP	4	34,2	30,0	10,25	1,70	11,95	0,16	11,79	88,6	1,95
6 K	12	47,4	28,9	13,70	1,90	15,62	0,10	15,52	94,9	2,09
6 NP	5	47,7	28,2	13,45	3,08	16,53	0,15	16,38	144,6	3,18
1 K	13	56,1	25,0	14,04	4,82	18,86	0,14	18,72	233,9	5,15
6 NP	6	36,6	29,4	10,75	2,98	13,73	0,13	13,60	133,7	2,94
2 K	14	63,2	26,1	16,50	7,31	23,81	0,18	23,63	188,3	4,03
6 NP	7	70,0	27,9	19,50	5,28	24,78	0,13	24,65	191,9	4,22
4 K	15	77,5	24,9	19,30	4,95	24,25	0,14	24,11	205,4	4,52
6 NP	8	59,6	30,0	17,90	3,96	21,86	0,12	21,74	179,3	3,94
6 K	16	72,2	28,3	20,40	2,23	22,63	0,10	22,53	145,6	3,20

In der Gruppe 3 N tritt der Abfall der CO_2-Ausscheidung mit zunehmenden K-Gehalt der Lösungen deutlich hervor. In der Gruppe 6 N nehmen die Werte für die CO_2-Ausscheidung nicht in gleicher Weise mit der Zunahme des K-Gehalts ab.



Abb. 3.
Reihenanordnung der Versuchsgefäße und Vorlagen mit 8 Wochen alten Maispflanzen.

Der Grund liegt in der wesentlich stärkeren Zunahme der Trockensubstanzbildung unter dem Einfluß der K-Steigerung.

In Abbildung 4 wurden die Mittelwerte für die Trockensubstanzernte, für die CO_2-Ausscheidungen und für die Verhältniswerte zwischen Trockensubstanz und CO_2-Ausscheidung, bezogen auf 100 g Trockensubstanz, dargestellt. Die in a und b dargestellten Werte sind entsprechend ihren Ausgangswerten zum Teil mit erheblichen Schwankungen behaftet. Doch ist die Tendenz des Ernährungseinflusses trotz dieser Einschränkung deutlich zu erkennen.

In der Gruppe 3 N steigt der Ertrag mit der Steigerung der K-Gabe im Mittel von 10,2 auf 13,8 g, in der Gruppe 6 N von

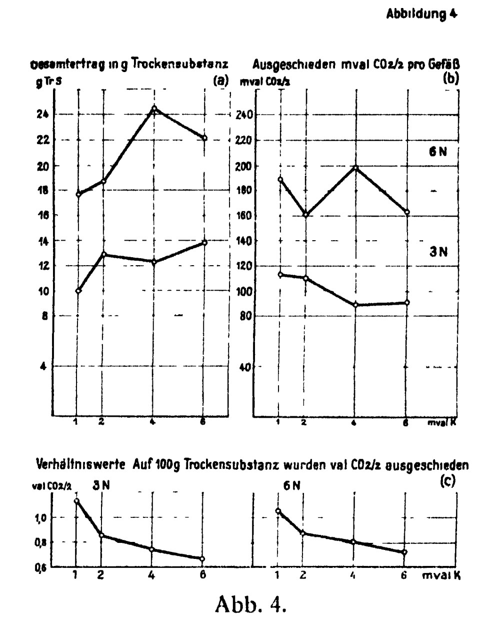


Abb. 4.

17,8 g auf 24,5 g bei 4 mval K. Aus diesen Werten geht hervor, daß die Erhöhung der K-Düngung bei der Gruppe 6 N eine bessere Wirkung gehabt hat als bei der Gruppe 3 N. Während jedoch durch die K-Steigerung in beiden Reihen 3 N und 6 N ein Rückgang in dem Verhältnis „Trockensubstanz : CO_2-Ausscheidung" festgestellt wird, ist beim Vergleich der N-Steigerung bei jeweils gleichem K-Gehalt kein Unterschied festzustellen. Der Rückgang der berechneten Werte des Trockensubstanz : CO_2-Verhältnisses beträgt bei der Gruppe 3 N von 1 K auf 6 K über 40%, bei der Gruppe 6 N 31,0%. Bei dem Vergleich der gleichen K-Reihen mit verschiedenem N-Gehalt der Lösung ist bei 2, 4 und 6 K eine Zunahme bis zu 10% festzustellen.

Die Abhängigkeit der CO_2-Ausscheidung vom K-Gehalt der Nährlösung tritt damit wieder klar hervor.

Eine Wiederholung dieses Versuches, die anschließend durchgeführt wurde, brachte zwar nicht die gleichen Erträge und CO_2-Ausscheidungen wie der vorstehende Versuch. Der Grund dürfte in den gegenüber dem 1. Versuch geänderten allgemeinen Wachstumsverhältnissen zu sehen sein. Der 1. Versuch dieser Gruppe lief von März bis Mitte Juni, während der 2. Versuch von Ende Juni bis Mitte September angestellt wurde. Der Versuch brachte jedoch insofern eine Bestätigung des 1. Versuches als durch die Erhöhung der N-Gabe ebenfalls wieder eine Zunahme des Wertes für das Verhältnis Trockensubstanz-CO_2-Ausscheidung eintrat, während die Erhöhung der K-Düngung sich trotz der Ertragssteigerung in einer Abnahme dieses Verhältniswertes auswirkte.

Tafel 5.

Verhältnis der Werte für Trockensubstanz: $CO_2/2$ bezogen auf die Reihe 1 K.

	3 N		6 N		3 N : 6 N	
	1. Versuch	2. Versuch	1. Versuch	2. Versuch	1. Versuch	2. Versuch
1 K	100	100	100	100	100 : 93,0	100 : 94,4
2 K	75,4	78,8	83,0	83,5	100 : 102,3	100 : 100
4 K	64,9	57,6	76,4	74,0	100 : 109,5	100 : 121,3
6 K	58,8	67,6	68,9	78,0	100 : 109,0	100 : 109.3

	1. Versuch	2. Versuch	Mittel
1 K	100	100	100
2 K	77,4	83,5	80,2
4 K	66,8	75,0	67,7
6 K	63,8	74,2	68,8

In der Tabelle 5 sind für beide Versuche die Relativwerte des Verhältnisses Trockensubstanz : CO_2, bezogen auf 1 mval K bei 3 N und 6 N angegeben. Ferner enthält die Aufstellung auch noch die bei den beiden Versuchen festgestellten Verhältniswerte zum Vergleich des N-Einflusses auf die CO_2-Ausscheidung. Das Ergebnis der beiden Versuche befindet sich mit den im 1. Teil festgestellten Einfluß der Vegetationsverhältnisse ebenfalls in Übereinstimmung, da der 1. Versuch unter besseren Vegetationsbedingungen (Zunahme von Licht und Wärme) durchgeführt wurde und dementsprechend absolut niedrigere Werte für die CO_2-Ausscheidung ergab als der 2. Versuch.

Die Unterschiede der Werte zwischen ungenügender und ausreichender K-Düngung entsprechen zwar nicht vollständig dem Unterschied zwischen guten und schlechten Lichtverhältnissen. Es geht aber aus den Ergebnissen hervor, daß eine ungenügende Versorgung der Pflanzen mit K eine schlechtere Verwertung der aufgenommenen CO_2 nach sich zieht.

Der Einfluß der Wachstumsverhältnisse zeigte sich, wie schon erwähnt, in dem Ansteigen des relativen Ausscheidungswertes bezogen auf 100 g CO_2 von 11,3 g CO_2 bei lichtfreier Versuchszeit auf 24,0 g CO_2 bei lichtarmer Versuchszeit. Eine entspre-

chende Berechnung ergibt bei den Düngungsversuchen mit 3 mval N als Grunddüngung bei 1 mval K 16,5 CO_2 und bei 6 mval K 10,5 g CO_2 Ausscheidung für 100 g assimilierte CO_2. In der Gruppe 6 mval N sinken die Werte von 22 g CO_2 bei 1 mval K auf 15,8 g CO_2 bei 6 mval K.

Eine weitere Aufgabe, die sich aus der von uns angewandten Methode ergab, war folgende, den tageszeitlichen Rhythmus der CO_2-Ausscheidung zu prüfen und zu untersuchen, welche gegenseitige Beeinflussung Düngung, Licht und allgemeine Vegetationsbedingungen ergaben.

Anstelle der einfachen Luftleitung aus der Sicherheitsvorlage wurde ein Dreiwegehahn eingesetzt, an den auf jeder Seite 2 Vorlagen angeschlossen wurden. Die Umschaltung von den Tagesvorlagen auf die Nachtvorlagen und umgekehrt erfolgte regelmäßig bei Sonnenuntergang und Sonnenaufgang.

Um zunächst einen starken Unterschied zwischen Tag- und Nachtstunden zu erhalten, wurde mit der Versuchsdurchführung im Herbst begonnen. Wir nahmen damit in Kauf, daß die Ertragswerte und die CO_2-Ausscheidung infolge der ungünstigen Wachstumsbedingungen nicht den normalen Ergebnissen entsprachen. Andererseits war damit zu rechnen, daß nach den in den Wintermonaten erhaltenen Resultaten für das Verhältnis Trockensubstanz : CO_2-Ausscheidung auch ausreichend große Unterschiede in der täglichen oder stündlichen CO_2-Abgabe der Tag- und Nachtproduktion auftraten.

Tafel 6.

		Versuch A		Versuch B	
		½ (NPK)	NPK	½ (NPK)	NPK
1.	Gesamtertrag g/Gefäß	1,97 ± 0,12	1,58 ± 0,08	6,16 ± 0,21	10,41 ± 0,75
2.	Ausgeschieden: Tag	26,17 ± 0,65	27,86 ± 1,96	32,43 ± 3,05	45,34 ± 0,05
	Nacht	27,52 ± 0,71	33,14 ± 2,89	32,20 ± 2,56	48,26 ± 4,22
	mval CO_2/2 Gesamt	53,69 ± 1,29	61,00 ± 4,79	64,63 ± 5,61	93,60 ± 4,27
3.	val CO_2/2 je 100 g Trockensubstanz	2,73 ± 0,06	3,86 ± 0,30	1,04 ± 0,06	0,90 ± 0,11
4.	mval CO_2/2 je Stunde:				
	Tag	0,043	0,046	0,036	0,046
	Nacht	0,030	0,037	0,025	0,036
	Gesamt	0,036	0,040	0,030	0,040
5.	CO_2 Tagstunde : CO_2 Nachtstunde	1 : 0,70	1 : 0,79	1 : 0,69	1 : 0,78
6.	CO_2 Tagesleistung : CO_2 Nachtleistung	1 : 1,05	1 : 1,19	1 : 0,99	1 : 1,10
7.	Tagstund. : Nachtstund.	1 : 1,50		1 : 1,42	

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der beiden Versuche: „A" Oktober bis Dezember und „B" Januar bis April in ihren Mittelwerten aufgeführt.

Die Düngung war bei der Reihe ½ (NPK) 3 mval N, 1,5 mval $PO_4/3$ und 3 mval K je Gefäß und bei der Reihe NPK das doppelte, also 6 N, 3 $PO_4/3$ und 6 K.

Die Salze wurden als $Ca(NO_3)_2$, $CaH_4(PO_4)_2$ und als K_2SO_4 gegeben. In beiden Reihen wurden außerdem 10 mval Ca/2 als $CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$, 1,0 m/val Mg/2 als $MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$ und 0,5 mval Fe/3 als $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9\,H_2O$ gegeben.

Die Ergebnisse bezüglich Erntegewicht und CO_2-Ausscheidung entsprechen den auf Grund der vorhergehenden Versuche erwarteten Größen. Der Versuch A brachte infolge der geringen Tageslänge ziemlich geringe Erträge und verhältnismäßig hohe CO_2-Ausscheidung. Die Erträge des Versuches B waren dagegen infolge der Lichtzunahme schon wesentlich höher bei nur wenig gestiegenen Werten für CO_2. Der Unterschied der Düngungsreihen untereinander war beim Versuch A sehr gering. Die gefundenen und berechneten Werte für CO_2 sind sogar den Befunden früherer Versuche entgegengesetzt. Beim Versuch B war durch die Erhöhung der Düngung eine deutliche Ertragssteigerung eingetreten, die sich auch trotz der Zunahme der CO_2-Ausscheidung noch in einem günstigen relativen CO_2-Ausscheidungswert ausdrückt.

Da wir mit diesem Versuch in erster Linie den Rhythmus der täglichen und stündlichen CO_2-Ausscheidung prüfen wollten, wurden aus den getrennt für die Tag- und Nachtstunden bestimmten CO_2-Mengen die Werte für die stündliche CO_2-Ausscheidung errechnet. Diese Werte (Reihe 4, Tabelle 6) zeigen, daß die durch Vorlagen gedrückte Luft während der Nachtstunden eine geringere Menge CO_2 aus der Lösung aufgenommen hat als die Luft der Tagesstunden. In beiden Versuchen verhält sich die stündliche Leistung am Tag zur Leistung während der Nacht bei der kleinen Düngung wie 1 : 0,7 und bei der hohen Düngung wie 1 : 0,8.

Aus der Übereinstimmung der Stundenwerte in den beiden Versuchen geht hervor, daß durch die dauernde Durchlüftung der Nährlösung und der damit verbundenen Entfernung der CO_2 aus der Nährlösung eine unterbrochene Ausscheidung von CO_2 aus der Wurzel vor sich geht.

Der Rückgang in der stündlichen CO_2-Ausscheidung während der Nachtstunden beträgt bei ungenügender Nährstoffversorgung 30% und bei Volldüngung 20%. Wie weit aus diesem Unterschied der Schluß berechtigt ist, daß der Umsetzungsprozeß zwischen Pflanze und Wurzel in nährstoffreichen Medien weniger lichtabhängig ist als in nährstoffarmen Medien, muß noch eingehender geprüft werden.

Die Tages- und Nachtproduktion an CO_2 des Versuches A verhalten sich zueinander wie 1 : 1,05 und 1 : 1,19 bei einem Tagesstunden : Nachtstundenverhältnis wie 1 : 1,5. Beim Versuch B geht das Verhältnis entsprechend der Veränderung des Verhältnisses: Tagstunden : Nachtstunden = 1 : 1,42 auf 1 : 0,99 bzw. 1 : 1,1 zurück.

Als 4. Versuchsfrage wurde untersucht, welche Änderungen in der CO_2-Ausscheidung und im Ertrag eintreten, wenn der Nährstoffgehalt der Lösung während der Wachstumsperiode durch

eine Nachdüngung erhöht wird. Es sollte dabei geprüft werden, ob die CO_2-Ausscheidung konstant bleibt und von dem Nährstoffgehalt der Lösung beeinflußt wird.

Der Versuch konnte ferner zeigen, wie weit Pflanzen in nährstoffarmen Lösungen durch eine Nachdüngung gefördert werden können.

Die Versuchsdüngung und die Anordnung der Absorptionsflaschen war wie in den ersten Versuchen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tafel 7.

Einfluß der Nachdüngung auf Erntegewicht und CO_2-Ausscheidung.

Düngung	Versuchsdauer von bis	Wochen	Sproß, trocken g	Wurzel, trocken g	Gesamternte, trocken g	Ausgeschieden gesamt mval $CO_2/2$	Je 100 g Trockensubstanz val $CO_2/2$
1/2 (NPK)	10. 5.—5. 7.	8	4,68	1,62	6,30	50,43	0,80
			3,92	1,32	5,24	39,45	0,75
NPK	10. 5.—5. 7.	8	8,70	2,00	10,70	56,79	0,53
	10. 5. 3. 8.		4,81	2,18	6,99	34,26	0,49
1/2 (NPK)		12	6,00	1,27	7,27	61,07	0,84
			5,20	2,17	7,37	61,90	0,84
2/2 NPK nachgedüngt 5. 7.	10. 5.—5. 7. 5. 7.—3. 8.	12	11,21	3,50	14,71	78,84	0,54
			12,53	2,02	14,55	88,39	0,61
NPK	10. 5.—3. 8.	12	10,58	2,52	13,10	94,79	0,73
			13,65	2,47	16,12	114,53	0,71
			15,37	1,82	17,19	94,85	0,55

Die Werte bestätigen zunächst die Ergebnisse früherer Versuche hinsichtlich der Düngungseinflüsse auf das Trockensubstanz : CO_2-Verhältnis, und zwar bei beiden Versuchsernten. Bei der 1. Ernte, die 8 Wochen nach Versuchsbeginn vorgenommen wurde, zeigte sich, wie aus der Tabelle 7 hervorgeht, zwischen den einzelnen Parallelwerten der Gruppe 1/2 (NPK) eine ziemlich gute Übereinstimmung, während die Parallelen bei NPK hinsichtlich des Ertrags und der CO_2-Ausscheidung beträchtlich auseinandergehen. Dagegen stimmen die für das CO_2-Ausscheidungsverhältnis erhaltenen Werte sehr gut überein und zeigen wieder, daß durch Erhöhung der Düngung eine relativ geringere Kohlensäureausscheidung eintritt. Die Werte für Ertrag und CO_2-Ausscheidung der 2. Ernte zeigen mit Ausnahme der NPK-Gruppe gute Übereinstimmung. Der Unterschied im CO_2-Ausscheidungsverhältnis ist hier besonders zwischen der Gruppe 1/2 (NPK) und 2 × 1/2 (NPK) deutlich gegenüber der höheren Düngung verschoben.

In Abbildung 5 wurden die sich aus den Parallelen ergebenden Mittelwerte für Ertrag, CO_2-Ausscheidung und für den CO_2-

Ausscheidungswert, bezogen auf 100 g Trockensubstanz, dargestellt. Bei der Darstellung der Werte für den Gesamtertrag tritt durch die Einschaltung der Werte der 1. Ernte der Effekt der Nachdüngung der Reihe 2 × 1/2 NPK gegen 1/2 NPK sehr deutlich auch im Bild in Erscheinung. Die Mittelwerte für die CO_2-Ausscheidungen der 1. Ernte 1/2 NPK und NPK liegen sehr nahe zusammen und betragen 44,9 mval $CO_2/2$ für 1/2 NPK und 45,5

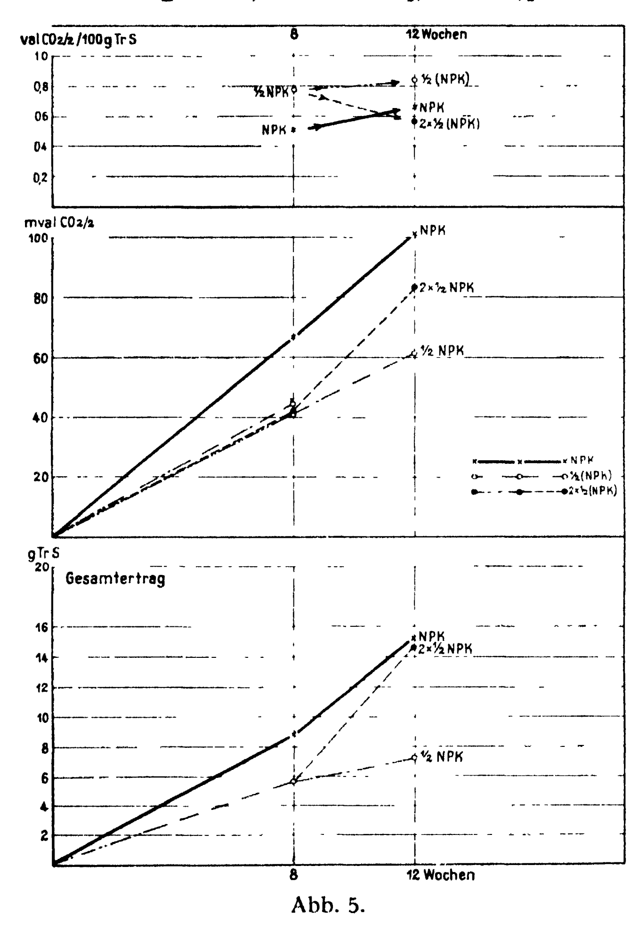


Abb. 5.

mval $CO_2/2$ für NPK. Annähernd die gleiche Menge, nämlich 42 und 41 mval wurde auch als Zwischenwert für den Nachdüngungstag der Reihen 1/2 NPK und 2 × 1/2 NPK festgestellt. Bei der Reihe NPK der 2. Ernte werden dagegen bis zum Stichtag 66,5 mval $CO_2/2$ gefunden. Dieser Zwischenwert liegt also wesentlich höher als die bei der 1. Ernte festgestellten Werte.

Durch die Nachdüngung bei 1/2 (NPK) durch eine nochmalige Gabe in gleicher Höhe wurde der Gesamtertrag um 100% gegenüber 1/2 (NPK) gesteigert. Die Steigerung der CO_2-Ausscheidung

betrug jedoch nur 36% gegenüber der CO_2-Ausscheidung bei $^1/_2$ NPK. Benutzt man den Wert für die CO_2-Ausscheidung der 1. Ernte $^1/_2$ NPK 0,77 mval/100 g Trockensubstanz als Zwischenwert, so errechnet sich für den Zuwachs zwischen 1. und 2. Ernte für die CO_2-Ausscheidung der Relativwert 0,43 val/100 g Trockensubstanz. Für die ganze Vegetationsperiode beträgt der Wert bei 2 × $^1/_2$ NPK 0,57 val und bei 1 NPK 0,66 val CO_2 auf 100 g Trockensubstanz.

Diese Unterschiede zeigen, daß die CO_2-Ausscheidungen der Pflanze während des Wachstums sehr stark durch Veränderungen des Nährstoffvorrats beeinflußt werden. Nach dem vorliegenden Versuch wurde durch die 2. Nährstoffgabe die Entwicklung der Versuchspflanzen so gefördert, daß ertragsmäßig das gleiche Gewicht erzielt wurde wie bei den Pflanzen, die vom Versuchsbeginn an in der vollständigen NPK-Lösung gezogen wurden. Da aber, wie oben erwähnt, die CO_2-Ausscheidungen bei der zweifachen Gabe mit je $^1/_2$ der Düngung NPK geringer waren als bei der einmaligen NPK-Gabe, kann bei der geteilten Nährstoffgabe außer dem Ertragsausgleich auch eine bessere Ausnutzung der assimilierten CO_2 festgestellt werden.

Außer der Prüfung der Beziehungen zwischen Trockensubstanzbildung und Kohlensäureausscheidung wurde untersucht, welche Verhältnisse zwischen der durch Analyse der Pflanzen festgestellten Nährstoffaufnahme und der Kohlensäureausscheidung bestehen.

Die Analysen der Pflanzen des 1. Versuches ergaben folgende Werte, die zusammen mit den CO_2-Werten in Tabelle 8 aufgeführt sind.

Aus diesen Werten gehen keine regelmäßigen Beziehungen zwischen dem Kationengehalt und der Kohlensäureausscheidung hervor. Die Übereinstimmung, welche zwischen Erntegewicht und Gesamtausscheidung an CO_2 und auch bei den Werten für $CO_2/2$ je 100 g Trockensubstanz festzustellen ist, ist bei den Aschengehalten durch die insgesamt um 25% höhere Kationenaufnahme bei der 2. Pflanze gestört. Immerhin ist als Ergebnis festzuhalten, das zwischen CO_2-Ausscheidung und Kationenaufnahme ein Verhältnis von 1 : 0,09 bzw. 1 : 0,12 besteht, oder anders ausgedrückt, daß an Kohlensäure rund das Zehnfache der Kationenaufnahme ausgeschieden wird.

Tafel 8.

Gesamterntegewicht trocken g	Gesamtmenge CO_2 val	Je 100 g Trockensubstanz val					
		$CO_2/2$	K	Na	Ca/2	Mg/2	Summe v. Kationen
3,04	0,040	1,31	0,082	0,002	0,026	0,011	0,121
2,02	0,027	1,35	0,108	0,03	0,036	0,014	0,161

Weitere Analysen wurden mit dem Erntematerial des Versuches mit verschiedenen Nährstoffgaben durchgeführt. Die Ver-

suche hatten, wie schon mitgeteilt, eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung hinsichtlich der Veränderung der CO_2-Ausscheidung für 100 g Trockensubstanz unter dem Einfluß der K-Düngung. Unter dem Einfluß der Kalidüngung ging dieser Quotient von 1,14 val CO_2 bei 1 mval K auf 0,67 val CO_2 bei 6 mval K und kleinen N-Gaben und von 1,06 val CO_2 auf 0,73 mval CO_2 bei hoher N-Gabe zurück.

Die Gesamtwerte wurden aus den Einzelanalysen für Sproß und Wurzel errechnet und sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tafel 9.

Nährstoffgehalt und CO_2-Ausscheidung.

Düngungsgruppe	Ges.-Ertr. trocken g	Ges.-Menge mval CO_2	Je 100 g Trockensubstanz						Summe	
			$CO_2/2$ val	N val	$PO_4/3$ val	K val	Ca/2 val	Mg/2 val	N+PO_4/3	K+Ca/2+Mg/2
3 N 1 K	10,0	114,5	1,14	0,056	0,033	0,022	0,032	0,011	0,089	0,065
3 N 2 K	12,8	111,2	0,86	0,045	0,031	0,028	0,025	0,008	0,076	0,061
3 N 4 K	12,32	91,1	0,74	0,040	0,030	0,053	0,018	0,005	0,070	0,076
3 N 6 K	13,75	91,75	0,67	0,040	0,027	0,061	0,013	0,004	0,067	0,078
6 N 1 K	17,65	189,3	1,06	0,058	0,018	0,012	0,048	0,007	0,076	0,067
6 N 2 K	18,72	161,0	0,88	0,055	0,020	0,022	0,038	0,005	0,075	0,065
6 N 4 K	24,45	198,7	0,81	0,047	0,015	0,032	0,023	0,006	0,062	0,061
6 N 6 K	22,17	162,5	0,73	0,047	0,019	0,050	0,017	0,005	0,066	0,072

Die Analysenwerte geben die Veränderungen, die unter dem Einfluß der wechselnden Düngung vor sich gingen, sehr deutlich wieder. Der Zunahme des prozentualen K-Gehaltes als Folge der K-Steigerung entspricht die Abnahme des Ca/2- und Mg/2-Gehaltes. Die Summe der 3 Kationen nimmt mit der Erhöhung der K-Düngung ebenfalls zu, ohne daß jedoch diese Zunahme direkt proportional verläuft. Die Summe N+PO_4/3 nimmt mit der Zunahme der Trockensubstanzbildung ab. Der Prozentgehalt an N ist in den Reihen 1 mval K bei niedriger und bei hoher N-Düngung gleich, er sinkt aber in der Gruppe 3 N weiter ab, als in der Gruppe 6 N. Der PO_4-Gehalt ist in der Gruppe 3 N höher als in der Gruppe 6 N.

Hinsichtlich der Nährstoffausnützung ergab sich bei der Gruppe 3 N eine N-Ausnützung von 82--97%, eine Aufnahme der P-Düngung von 55—66%. Bei der Gruppe 6 N betrug die Aufnahme des N 85—96%, und die Aufnahme von P_2O_5 53--70%. Bei der Aufnahme von K und Ca zeigte sich der Einfluß der verschieden hohen N-Düngung. Bei kleiner N-Gabe mit den entsprechend niedrigen Erträgen betrug die K-Aufnahme in der Reihe 6 K 70%, bei hoher N-Gabe und der gleichen K-Düngung 92,5%. In gleicher Weise war auch die Aufnahme der Ca-Düngung bei kleiner N-Gabe wesentlich schwächer als bei hoher N-Gabe. Hier ist besonders zu erwähnen, daß in der Reihe 1 K,

die die höchsten Ca-Gehalte, nämlich 0,032 val bei 3 N und 0,048 val bei 6 N, aufwies, bei kleiner N-Gabe nur 3,2 mval Ca/2 entsprechend 17,8 % gegen 8,5 mval Ca/2 = 35,0 % bei hoher N-Gabe aufgenommen wurden.

Aus diesem Befund geht hervor, daß die Pflanzen zum Ausgleich ihres Kationenbedarfs infolge des K-Mangels auf die Ca-Aufnahme angewiesen waren. Durch die Zunahme des K-Gehaltes der Nährlösung tritt eine Erhöhung der Trockensubstanzproduktion ein, die in der Gruppe 3 N von 10,0 g bei 1 K auf 13,75 g bei 6 K und in der Gruppe 6 N von 17,65 g bei 1 K auf 24,45 g bei 4 K und auf 22,17 g bei 6 K beträgt.

Gleichzeitig findet eine Mehraufnahme von K statt, die den Ca-Gehalt der Trockenmasse entsprechend verringert. In der Reihe 3 N 1 K waren von 100 Teilen Kationen 33,9 Teile K neben 49,2 Teilen Ca/2 gegen 17,9 Teile K und 71,6 Teile Ca/2 in der Reihe 6 N 1 K. Der Anteil des K an der Kationensumme stieg auf 78,2 % bei der Reihe 3 N 6 K und auf 69,4 % bei der Reihe 6 N 6 K. Der Ca-Anteil sank entprechend auf 16,7 % bei 3 N 6 K und auf 23,6 % bei 6 N 6 K.

Anhand der Abbildung 4 wurde die Abhängigkeit der CO_2-Wurzelausscheidung vom K-Gehalt der Nährlösung besprochen. Es ist beachtenswert, daß die Abhängigkeit der CO_2-Ausscheidung vom K-Gehalt der Pflanzenmasse eine Kurvenbildung ähnlicher Form wie Abbildung 4 ergibt. In Abbildung 6 wurden die Beziehungen zwischen CO_2-Wert und K-Gehalt der Erntemasse dargestellt. Als Abszisse sind die Werte für mval K/100 g Trockensubstanz und als Ordinate die Werte für val CO_2/2/100 g Trockensubstanz aufgetragen.

Die Werte der Gruppe 6 N liegen unter den Werten der Gruppe 3 N. Die Verbindungslinien der zu Gruppe 3 N und 6 N gehörenden Werte verlaufen zwischen den Werten der Reihe 2 K bei 6 K in geringem Abstand zueinander parallel. Die Einzelwerte weichen nur wenig von der Verbindungslinie der Mittelwerte 1 K 3 N + 1 K 6 N, 2 K 3 N + 2 K 6 N, 4 K 3 N + 4 K 6 N und 6 K 3 N und 6 K 6 N ab. Diese Übereinstimmung läßt darauf schließen, daß von den im Versuch geprüften Nährstoffen nur dem Kalium ein deutlicher Einfluß auf die CO_2-Ausscheidung zugesprochen werden kann.

Vageler und Alten (3) haben angenommen, daß jedem aufgenommenen Basenäquivalent des Aschengehaltes mindestens ein durch die Wurzeln aktiviertes Äquivalent H entspricht, sofern die Pflanzen ihren Bedarf durch Kationenaustausch decken. Bei der Auswertung der Ergebnisse der Methode Vageler-Alten wird mit dieser Annahme gerechnet. Für jede Pflanzenart wird an dem Kationengehalt einer Maximalernte die Summe der Äquivalente ermittelt. Dieser Wert entspricht dem Maximalwert der verfügbaren H-Äquivalente und wird bei der Berechnung der Nährstoffnachlieferung aus einem Boden als Verdrängungsenergie der angebauten Pflanzenart eingesetzt. Vageler hat an anderer Stelle (4) noch darauf hingewiesen, daß diese berechnete wirksame H-Ionenproduktion nur ein relativ kleiner Teil der totalen CO_2-Produktion der Pflanze darstelle.

Unter unseren Versuchsbedingungen hat sich gezeigt, daß die totale CO_2-Ausscheidung der Wurzeln das 10fache des Kationengehaltes der Ernte beträgt. Bei den Versuchen mit steigenden Nährstoffgaben hat sich weiter gezeigt, daß die CO_2-Ausscheidung besonders von dem K-Gehalt der Nährlösung beein-

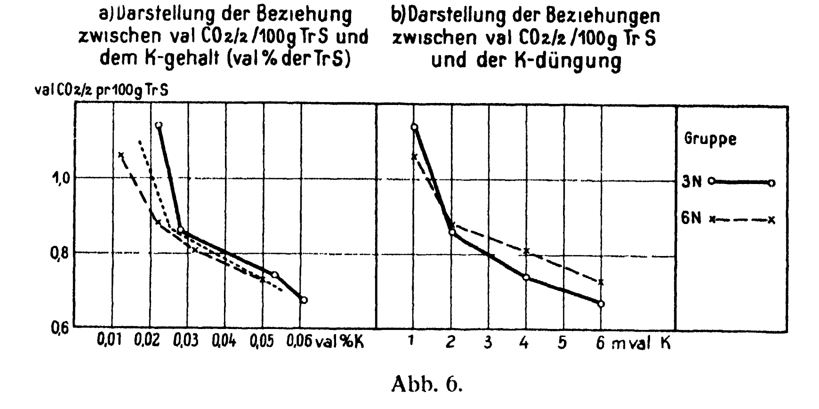


Abb. 6.

flußt wird. Mit der Zunahme des K-Gehaltes in der Nährlösung und der damit verbundenen Erhöhung des K-Gehaltes in der Erntemasse geht die CO_2-Ausscheidung absolut und relativ zurück. Das Verhältnis zwischen der aufgenommenen Kationenmenge und der totalen CO_2-Ausscheidung beträgt bei der Düngung 3 N 1 K 1 : 17,5; bei 3 N 6 K 1 : 8,6; bei 6 N 1 K 1 : 15,8 und bei 6 N 6 K 1 : 10,1. Auf praktische Verhältnisse übertragen kann man aus unseren Versuchen wahrscheinlich den Schluß ziehen, daß ein hoher Anteil an löslichem Kalium, der letzten Endes für die ausreichende Versorgung der Pflanze maßgebend ist, die Voraussetzung für eine rationelle Verwertung der assimilierten Kohlensäure zum Aufbau organischer Substanz bedeutet.

Zusammenfassung.

In Wasserkulturen zu Mais wurde in besonderen Versuchsanordnungen die CO_2-Ausscheidung der Wurzeln unter verschiedenen Vegetations- und Ernährungsbedingungen bestimmt. Die Versuche umfaßten jeweils größere Versuchszeiten von mehreren Wochen. Zunächst wurden die Einflüsse verschiedener Vegetationsfaktoren bestimmt, die jahreszeitlich bedingt waren.

1. Es zeigte sich, daß Pflanzen trotz verschiedener Erntegewichte und CO_2-Ausscheidungen relativ die gleichen Mengen, bezogen auf die gebildete Trockensubstanz, durch die Wurzeln ausgeschieden hatten. Ungünstige Wachstumsverhältnisse wie Lichtarmut usw. bedingen relativ größere und daher ungünstigere Werte für das Verhältnis Trockensubstanz : CO_2-Ausscheidungen.

2. In gleicher Weise machen sich auch Unterschiede im Nährstoffgehalt der Wasserkulturen bemerkbar. Durch Erhöhung des Gehaltes an N wurde eine Ertragssteigerung erzielt, die jedoch

auch von der entsprechenden Steigerung der CO_2-Ausscheidung begleitet wurde. Die durch K erzielte Ertragssteigerung war jedoch nicht mit einer gleichen Erhöhung der CO_2-Ausscheidung verbunden, wie dies bei der erhöhten N-Düngung der Fall war. Der relative Wert, der in mval CO_2/100 g Trockensubstanz ausgedrückt wird, sinkt mit Zunahme des Ertrages als Folge erhöhter K-Düngung ab. Die Ausmaße dieser Einflüsse werden durch folgende Zahlen dargestellt: Auf 100 g Kohlensäure, die beim Aufbau der Trockensubstanz festgelegt wurden, werden bei günstigen Vegetationsbedingungen rund 11,3 g und bei ungünstigen Bedingungen 23,9 g Kohlensäure durch die Wurzeln ausgeschieden.

Durch Erhöhung des N-Gehaltes der Nährlösung steigt diese Ausscheidung von 16,5 g auf 23 g Kohlensäure für 100 g in der Trockensubstanz festgelegte CO_2.

Durch Erhöhung des K-Gehaltes geht dieser Wert von 16,5 g auf 10,5 g bei niedriger N-Ernährung und von 22 g auf 15,8 g bei hoher N-Ernährung zurück.

3. Der Einfluß des Lichtes wurde dadurch untersucht, daß die CO_2-Ausscheidung der Tagesstunden getrennt von der der Nachtstunden bestimmt wurde. Es wurde hierbei festgestellt, daß die in den Nachtstunden pro Stunde ausgeschiedene CO_2-Menge bei kleiner Düngung nur 70 bzw. 61% der Tagesstundenleistung beträgt. Bei ausreichender Düngung, die unter halbwegs günstigen Vegetationsbedingungen einen Mehrertrag von rund 40% erbracht hat, betrug die Nachtstundenleistung 78—79% der Tagesstundenleistung. Dieser Unterschied läßt vermuten, daß bei ausreichender Ernährung ein gleichmäßigerer und schwankungsfreierer Ablauf der Produktion an Assimilaten stattfindet als bei Mangel an irgend einem Wachstumsfaktor.

4. Wird die Nährstoffgabe während des Versuchs durch eine Nachdüngung erhöht, so ändert sich auch die CO_2-Ausscheidung der Versuchspflanzen gegenüber den nicht nachgedüngten Pflanzen. Es konnte festgestellt werden, daß die als Folge der Nachdüngung eingetretene Ertragssteigerung mit einer niedrigeren relativen CO_2-Ausscheidung verbunden war, als sie in den Reihen mit normaler Düngung festgestellt wurde.

5. Die Auswertung der Aschenanalysen verschiedener Versuche zeigte, daß der Rückgang der relativen CO_2-Ausscheidung umso größer ist, je höher der K-Gehalt in der Pflanze angestiegen ist. Die totale CO_2-Ausscheidung verhält sich bei guter Versorgung mit K zum Kationengehalt der Erntemasse wie 10 : 1, bei schlechter Versorgung mit K wie 15,8 : 1. Es ist nach unseren Versuchen sehr wahrscheinlich, daß auch unter praktischen Verhältnissen einem hohen Anteil an pflanzenverfügbarem Kalium im Boden die Bedeutung zukommt, Voraussetzung für eine rationelle Verwertung der assimilierten Kohlensäure beim Aufbau organischer Substanz zu sein.

Schrifttum.

1. D'Ans, J.: Physikalisch-chemische Betrachtungen auf Grund von Modellversuchen zu pflanzen-physiologischen Fragen. Der Forschungsdienst, Sonderheft 7, J. Neumann-Neudamm u. Berlin, 1937, 99—104.
2. Lundegårdh, H., u. H. Burström: Untersuchungen über die Salzaufnahme der Pflanzen. 3. Mitt.: Quantitative Beziehungen zwischen Atmung und Anionenaufnahme. Bioch. Z. Berlin **261**, 1933, 236.
3. Vageler, P., u. F. Alten: Böden des Nil und Gash. IV. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A **22**, 1931, 260.
4. Vageler, P.: Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens. Springer. Berlin 1932, 188. [273]

Gründüngungsversuche.

4. Folge.

Von **F. Berkner** (Ref.), **E. Wiese** und **B. Newrzella.**

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Breslau.

Direktor: Professor Dr. Berkner.

Eingegangen: 30. Januar 1939.

In Fortführung der in der Versuchswirtschaft Breslau, Guentherbrücke laufenden Gründüngungsversuche (1, 2, 3) sollen weitere Versuchsergebnisse bekannt gegeben werden.

In unseren bisherigen Versuchen hatten wir feststellen können, daß von den für die Gründüngung in erster Linie benutzten Hülsenfrüchten und kleeartigen Pflanzen die Lupinen und der Inkarnatklee an sich die höchste Stickstoffleistung aufwiesen und die nachgebauten Feldfrüchte deswegen ertragsmäßig auch am günstigsten beeinflußten. Wir hatten weiter gefunden, daß alle Feldfrüchte, die nicht zur Gruppe der stickstoffsammelnden Pflanzen gehören, als nicht geeignet zu Gründungungszwecken bezeichnet werden müssen. Für diese Tatsache sollen die noch mitzuteilenden Ergebnisse vorliegender Versuche neue Belege bringen.

Da bei der zurzeit herrschenden „gebundenen" Wirtschaft den Bestrebungen des Reichsnährstandes, die Futterbasis durch Ausdehnung des Feldfutterbaues zu vergrößern, der Zwischenfruchtbau in der neuzeitlichen Landwirtschaft eine bevorzugte Stellung einnimmt, so ist auch gelegentlich damit zu rechnen, daß Pflanzen untergepflügt und damit als „Gründüngung" genutzt werden, die zu diesem Zweck nicht angebaut, sondern eigentlich zur Futtergewinnung bestimmt worden waren. Zur Gruppe solcher Pflanzen sind z. B. zu rechnen Mais, Sonnenblumen, Sudangras, Raps u. a. Es schien uns daher zweckmäßig, die genannten Pflanzen zu unseren Versuchen heranzuziehen. Der Vollständigkeit halber nahmen wir auch noch die Wasserrübe hinzu, obwohl ein Unterpflügen dieser Pflanzen ja wohl praktisch nur bei einer ausgesprochenen Mißernte im Zwischenfruchtbau in Frage kommen kann. Für die Wahl dieser Feldfrucht lagen, wie wir später hören werden, andere Gründe vor.

Schließlich mußte noch die Frage interessieren, inwieweit es möglich ist, bei der fraglos von Jahr zu Jahr immer mehr zunehmenden Futternutzung der im Zwischenfruchtbau angebauten

Pflanzen in den im Boden zurückbleibenden Wurzelresten neben der Humussicherung unserer leichteren Bodenarten auch die Versorgung der nachfolgenden Früchte mit einer zwar langsam, aber doch sicher fließenden Stickstoffquelle zu erreichen. Dazu mußte also nicht nur die oberirdische Pflanzen-, sondern auch die Wurzelmasse nach Frisch- und Trockengewicht ermittelt werden. Aus diesen kurz entwickelten Gesichtspunkten heraus ergab sich eine kombinierte Fragestellung und eine nicht ganz einfache Versuchsanordnung. Wir suchten also Antwort auf folgende Fragen;

1. Ist der Inkarnatklee trotz geringerer Massenentwicklung in der Wirkung auf die Nachfrucht ertragsmäßig den bewährten Hülsenfrüchten, wie z. B. Lupine und Peluschke, gleich zu setzen?

2. Können Pflanzen, die nicht zur Gruppe der stickstoffsammelnden Gewächse zu rechnen sind, mit gleichem Erfolge zur Gründüngung benutzt werden wie die Hülsenfrüchtler und kleeartigen Gewächse?

3. Wie verhalten sich Gemische beider Pflanzengruppen in ihrer Wirkung auf den Ertrag der Nachfrüchte?

4. Nimmt die Wasserrübe in der Gruppe der Nichtleguminosen eine Sonderstellung ein?

5. Stellt sich die Gesamtleistung der im Zwischenfruchtbau angebauten Pflanzen höher, wenn ober- und unterirdische Masse zusammen als „Gründüngung" untergepflügt werden oder wenn nur die „Wurzel- und Stoppelreste" untergepflügt werden, die Pflanzen aber durch Verfütterung genutzt werden?

Gemäß der entwickelten Fragestellung wurde der Versuch in 2 parallel laufenden Serien (B, I, Pflanzen verfüttert, Wurzel- und Stoppelreste eingeackert; B, II, Pflanzen und Wurzeln eingeackert) nach Zade mit 13 verschiedenen Früchten angelegt. Nach je 2 Langteilstücken blieb als „Maßteilstuck" jeweils 1 Teilstück unbestellt. In jeder Serie war das Maßteilstück also 7 Mal vertreten. An dem Mittel dieser 7 Maßteilstücke wurde in jeder Serie der Ertrag aller übrigen Teilstücke gemessen. Die einzelnen Teilstücke, für die 5 Wiederholungen je 19,20 m^2 vorgesehen waren, liefen von Suden nach Norden und lagen in der Reihenfolge nebeneinander, wie sie in der Tabelle 1 verzeichnet sind. Serie B, I, lag südlich längs eines Feldweges, von ihm durch einen etwa 10 m breiten Feldstreifen getrennt. Nach Norden schloß sich Serie B, II, derart an, daß die Teilstucke mit gleichen Feldfruchten in einem Zuge bei der Anlage der Versuche bestellt werden konnten. Nur so war es moglich, den umfangreichen Versuch technisch einigermaßen einwandfrei anzulegen und durchzuführen. Die Vorfrucht bestand aus Roggen. Nach erfolgter Ernte des Roggens wurde der Acker (es handelt sich um einen humosen, lehmigen Sandboden), um die in der landwirtschaftlichen Praxis im Zwischenfruchtbau bisher übliche Methoden der Vorbereitung des Ackers zur Saat zu beachten, ordnungsmäßig geschält und nach einer Düngung mit 2 dz/ha 40% Kalisalz und 2 dz/ha Thomasmehl am 27. Juli 1937 bestellt. Der Aufgang der Saaten erfolgte gleichmäßig vom 2.—4. August. Die unbestellten Maßteilstücke wurden nur geschält und abgeeggt, blieben sich selbst überlassen und ergrünten nach und nach vom ausgefallenen Roggen. Die Entfernung der Drillreihen betrug 20 cm, nur Mais (Janetzkis Körnermais), Sonnenblumen, Raps und Wasserrüben wurden auf 30 cm gedrillt. Um geschlossene Bestände zu erzielen, wurden die Aussaatmengen reichlich bemessen. Es wurden gesät:

Tabelle 1.

Nr.	Fruchtart	Frischmasse		Trockenmasse	
		dz/ha	m °/₀	°/₀	dz/ha
	Ohne Gründüngung (Standard)	—	—	--	—
1.	Gelbe Süßlupinen	411,0	5,71	9,09	37,4
2.	Peluschken	326,0	8,43	11,07	36,2
3.	Inkarnatklee	274,0	4,35	12,39	34,0
4.	Inkarnatklee u. Westerwoldsches				
5.	Raygras	234,0	2,32	13,22	30,9
	Mais	85,0	12,84	12,78	10,9
6.	Sudangras	100,0	6,96	18,40	18,4
7.	Sonnenblume	185,0	6,17	20,42	37,7
8.	Raps	87,0	8,77	21,70	18,9
9.	Peluschken-Sudangras	247,0	7,31	11,94	29,4
10.	Gelbe Süßlupinen-Sudangras .	325,0	8,97	12,91	41,9
11.	Inkarnatklee-Mais	236,0	6,50	15,43	36,3
12.	Inkarnatklee-Raps	221,0	6,57	16,43	36,2
13.	Wasserrübe	86,0	9,31	14,89	12,8

1. Gelbe Süßlupine 200 kg/ha
2. Peluschke 165 kg/ha
3. Inkarnatklee 32 kg/ha
4. Inkarnatklee und Westerwoldsches Raygras 18 : 12 kg/ha
5. Mais 50 kg/ha
6. Sudangras 60 kg/ha
7. Sonnenblumen 20 kg/ha
8. Raps 6 kg/ha
9. Peluschken,Sudangras 120 : 20 kg/ha
10. Gelbe Süßlupine, Sudangras 120 : 20 kg/ha
11. Inkarnatklee, Mais 18 : 30 kg/ha
12. Inkarnatklee, Raps 18 : 4 kg/ha
13. Wasserruben 1 kg/ha

Um die feldmaßigen Bedingungen zu wahren, wurden keinerlei Pflegearbeiten durchgeführt. Nur die Wasserrüben wurden auf 10 cm in der Reihe verzogen. Um die Entwicklung der Stickstoffzehrer Mais, Raps, Sudangras, Sonnenblumen und Wasserruben zu gewahrleisten, erhielten sie eine zusätzliche Stickstoffdüngung in Form von 150 kg/ha Kalkammonsalpeter! Die Gemische von Stickstoffmehrern- und -zehrern erhielten keine Stickstoffbeidüngung, weil angenommen wurde — fußend auf praktischen Erfahrungen — daß sie sich bei der Entwicklung gegenseitig helfen wurden.

Der Verlauf der Witterung in den Monaten August bis Oktober 1937 war der Entwicklung der Zwischenfrüchte durchaus günstig. 3 Tage vor der Saat waren 24,9 mm Regen gefallen. Der August brachte 130 mm, der September 115,8 mm Regen in guter Verteilung, und der Oktober verhältnismäßig viel Sonnenschein und mit 28,7 mm wenig Regen. Die Temperaturen lagen jedoch infolge der hohen Niederschlage etwas unter dem 30jährigen Mittel.

Dieser Witterungsablauf kam den Hülsenfrüchten und dem Inkarnatklee sehr zugute. Sie gediehen daher ausgezeichnet. Weniger sagte die Witterung den trockenholden Pflanzen Sudangras, Mais und Sonnenblumen zu. Ihre Entwicklung ließ deshalb zu wünschen übrig. Namentlich kann der Mais einen „nassen Fuß“ gar nicht vertragen, wovon denn auch sein blaßgrünes Aussehen beredtes Zeugnis ablegte. Die Ernte erfolgte am 1. und 2. November, also reichlich spät.

Über die Höhe der Erträge an Frisch- und Trockenmasse, den N-Gehalt in der Trockenmasse und N-Ertrag in kg/ha unterrichtet uns Tabelle 1. Verzeichnet ist weiter in dieser Zusammenstellung der Kartoffelertrag/ha der Nachfrucht in absoluter wie

B, II.

N in der Trockenmasse		Knollenertrag		± dz/ha gegenüber ohne Gründüngung	Relative Leistung Standard = 100	1 kg N erzeugte Knollen kg
%	kg/ha	dz/ha	m %			
—	—	128,0	7,0	—	100,0	—
2,71	101,4	176,0	3,2	+ 48,0	137,5	47,3
2,88	103,8	172,0	5,0	+ 44,0	134,4	42,4
3,02	102,5	191,0	2,4	+ 63,0	149,2	61,4
2,42	75,0	159,0	6,2	+ 31,0	124,2	41,3
1,25	13,6	111,0	7,4	— 17,0	86,8	—
1,44	26,6	104,0	5,2	24,0	81,3	—
0,78	29,6	99,0	4,7	— 29,0	77,0	—
1,71	32,4	104,0	6,2	— 24,0	81,3	—
3,20 (?)	94,4	147,0	5,3	+ 19,0	115,0	20,1
2,38	99,7	159,0	3,1	+ 31,0	124,2	32,1
2,53	92,1	181,0	,3	+ 53,0	141,4	57,5
2,56	92,8	193,0	3,3	+ 65,0	151,0	70,0
1,78	22,9	153,0	5,9	+ 25,0	119,5	10,9

relativer Leistung, gemessen am Durchschnittsertrag der Meßteilstücke, und die Stickstoffleistung, ausgedrückt in kg/ha Kartoffeln.

Um den Anteil der Wurzeln am gesamten pflanzlichen Organismus zu ermitteln, wurde so vorgegangen, daß aus den Einzelteilstücken der zum Versuch herangezogenen Pflanzen 1 m² große Stücke abgezeichnet wurden, in denen die Stoppeln mit den Wurzeln möglichst sorgfältig mittels des Spatens ausgehoben, vorsichtig ausgeschüttelt und sofort gewogen wurden. Die Differenzen in den Wurzelgewichten erwiesen sich jedoch als so groß, daß sie für unsere Untersuchungen leider nicht ausgewertet werden können. Der Versuch wird in abgeänderter Form also wiederholt werden müssen. Wir haben nun den Versuch gewagt, die wahrscheinlichen mittleren Wurzelanteile an Hand von Literaturangaben und eigenen früheren Versuchen teilweise zu „konstruieren". Wenn die aus solchen Rekonstruktionen abgeleiteten Folgerungen naturgemäß nicht den Anspruch auf wissenschaftliche Genauigkeit erheben können, so sollen sie doch den Weg andeuten, auf dem weiter zu arbeiten sein wird, um dem Landwirt wenigstens „Anhaltszahlen" für seine Dispositionen in der Einschaltung und Behandlung des Zwischenfruchtbaues an die Hand zu geben.

Auf der Versuchsfläche wurden, nachdem die Gründüngung im Januar untergepflügt und der Acker im April ordnungsmäßig bestellt und feldmäßig mit 4 dz/ha schwefelsaurer Kalimagnesia und 2 dz/ha Thomasmehl gedüngt worden war, am 21. und 22. April Kartoffeln gesteckt (Ostbote, Hochzucht). Die Kartoffeln liefen vom 29. Mai bis 4. Juni auf und entwickelten sich zunächst bei der in der 1. Junihälfte herrschenden Trockenheit nur langsam, holten aber auf, als genügend Regen gefallen war und eine entsprechende mechanische Pflege einsetzen konnte. Unterschiede im Krankheitsbefall auf den einzelnen Teilstücken waren nicht festzustellen. Geerntet wurde am 21. und 22. September.

Die Ernte fiel nicht hoch aus und lag auch im feldmäßigen Anbau unter dem langjährigen Durchschnitt. Infolgedessen liegt auch die Stickstoffleistung der von uns seit vielen Jahren zu Gründüngungszwecken benutzten Pflanzen unter dem langjährigen Durchschnitt. Niedrige Erträge beeinträchtigen aber stets die Auswertung derartiger Versuche, da die „Ausschläge" vielfach

Tabelle 2.

Nr.	Fruchtart	Frischmasse		Trockenmasse	
		dz/ha	m %	%	dz/ha
	Ohne Gründüngung (Standard)	—	—	—	—
1.	Gelbe Süßlupinen	325,0	2,34	9,65	31,2
2.	Peluschken	250,0	3,48	10,58	26,5
3.	Inkarnatklee	174,0	4,45	13,86	24,2
4.	Inkarnatklee und Westerwold-				
5.	sches Raygras	146,0	5,90	15,80	23,1
	Mais	72,0	7,52	14,42	10,4
6.	Sudangras	72,0	4,96	19,89	14,3
7.	Sonnenblume	123,0	6,07	20,32	25,0
8.	Raps	66,0	9,18	22,77	15,0
9.	Peluschken-Sudangras . . .	244,0	1,61	13,84	33,7
10.	Gelbe Süßlupinen-Sudangras .	268,0	3,57	12,63	33,8
11.	Inkarnatklee-Mais	169,0	2,07	14,77	25,0
12.	Inkarnatklee-Raps	150,0	2,04	14,29	21,4
13.	Wasserrübe	93,0	6,66	15,55	13,9

zu gering sind. Bei der Auswertung der vorliegenden Zahlen kommt es deswegen auch weniger auf die Einzelergebnisse als auf die Herausarbeitung einer großen Linie und darauf an, die Richtung aufzuzeigen, welche in Zukunft bei der Anlage ähnlicher Versuche einzuhalten sein wird.

Es zeigt sich, daß bei Reinsaat die Peluschke der Süßlupine nahezu gleichkommt in ihrer Wirkung auf die Nachfrucht. Sehr günstig hat sich der Inkarnatklee, sowohl in Reinsaat wie auch im Gemenge mit Mais und Raps, ausgewirkt. Das liegt z. T. daran, daß der Anteil dieser Pflanzen am Gesamtbestande nicht sehr groß gewesen ist. Als völlig ungeeignete Gründüngungspflanzen erweisen sich Mais, Sudangras, Sonnenblumen und Raps. Sie bleiben im Durchschnitt mit ihren Erträgen um 23,5% unter den Maßteilstücken, die keine Gründüngungspflanzen getragen hatten. In ihren untergepflügten Massen geben sie den stickstoffressenden Bakterien ein so günstiges Nährstoffmedium, daß sie sich schnell vermehren und auch noch den greifbaren Stickstoff im Boden so in Anspruch nehmen konnten, daß der Kartoffelertrag um über 23 v. H. gedrückt werden konnte!

Günstiger schneidet die Wasserrübe ab, und zwar deswegen, weil wir nur die leicht und schnell verweslichen Blätter untergepflügt, die Wurzeln aber durch Verfütterung genutzt haben. Ein direkter Vergleich mit den übrigen Nichtleguminosen ist deswegen auch nicht möglich. Immerhin zeigt der Versuch, daß es wirtschaftlich richtiger ist, im Zwischenfruchtbau die billige Aussaat mit Wasserrüben vorzunehmen und sich unter Umständen mit nur einer geringen Wurzelnutzung zu begnügen, als den Acker ungenutzt nur in der Schälfurche liegen zu lassen und erhebliche Stickstoffverluste damit in den Kauf zu nehmen.

B, I.

N in der Trockenmasse		Knollenertrag		± dz/ha gegenüber ohne Gründüngung	Relative Leistung ohne Gründüng. = 100
%	kg/ha	dz/ha	m %		
—	—	105,0	5,3	—	100,0
3,05	95,1	123,0	8,6	+ 18,0	117,1
3,98	105,5	121,0	7,7	+ 16,0	115,2
3,14	76,0	142,0	3,6	+ 37,0	136,2
2,70	62,4	140,0	7,0	+ 35,0	133,3
1,32	10,7	104,0	4,8	— 1,0	99,1
1,46	20,7	85,0	8,1	— 20,0	81,3
0,93	23,2	92,0	9,6	— 13,0	88,1
2,18	32,7	108,0	11,4	+ 3,0	102,9
2,60	87,6	126,0	8,5	+ 21,0	120,5
2,52	85,2	118,0	7,0	+ 13,0	112,5
2,67	66,7	153,0	6,6	+ 48,0	145,5
2,71	58,0	148,0	6,7	+ 43,0	140,9
1,64	23,7	128,0	6,0	+ 23,0	121,9

Mengenmäßig werden nach den wirtschaftlich verwerteten Wasserrüben ebenso hohe Kartoffelernten gemacht wie nach den Mischsaaten: Inkarnatklee + Westerwoldsches Raygras, Peluschke + Sudangras und gelbe Süßlupine + Sudangras, nämlich im Durchschnitt 155 dz/ha, also 27 dz/ha mehr als auf dem Durchschnitt der Maßteilstücke. Daß die Kartoffelerträge hinter den Mischsaaten so stark abfallen, liegt wahrscheinlich daran, daß der Wurzelanteil der Gräser (Sudangras und Westerwoldsches Raygras) hier ziemlich hoch ist und wegen ihrer langsameren Rottung den Stickstoffabbau in den Wurzelresten und im Boden begünstigte.

Wie liegen die Dinge nun in der Serie B, I, also der Versuchsreihe, in welcher die oberirdischen Pflanzenteile verfüttert und nur die Stoppelreste mit den Wurzeln eingepflügt worden sind? Ein Blick auf die Zahlenreihe der Tabelle 2 sagt uns, daß sowohl die Durchschnittserträge der Maßteilstücke wie die Erträge der einzelnen Gründüngungspflanzen z. T. erheblich niedriger liegen als in der Serie B, II. Die Erträge der Standardteilstücke fallen um rund 22 v. H. geringer aus als in B, II. Es muß also der Boden nach Norden zu in Richtung der Serie B, II allmählich besser geworden sein. Es lassen sich demnach auch die Ertragszahlen beider Serien nur schwer miteinander vergleichen, wie wir wohl gern gewünscht hätten. Es erhebt sich nun die Frage, ob die Ergebnisse dann wenigstens in die gleiche Richtung weisen wie die der Reihe B, II. Das ist durchaus der Fall. Es ergeben sich eine ganze Reihe von Parallelen, nur daß hier, da die oberirdischen Teile fortfallen, die Wurzelmasse sich stärker durchsetzen muß in ihrer Einflußnahme auf den Ertrag der Nachfrucht. Süßlupine und Peluschke, die im Verhältnis zur oberirdischen Masse bekanntlich eine nur schwache Wurzelentwicklung haben, liegen, auch im Mischbau mit Gräsern, im Durchschnitt nur

25 dz/ha oder 16 % über dem Durchschnitt der Standardteilstücke. Dagegen übertrifft der Inkarnatklee mit seinen Mischsaaten im Durchschnitt den Ertrag der Maßteilstücke mit 46 dz/ha um rund 39 %.

Nun wissen wir aus früheren Untersuchungen Berkners (1,2,3), daß der Wurzelanteil von Lupinen und Peluschken wenig mehr als 10 % von der oberirdischen Pflanzenmasse ausmacht. Dagegen fand der gleiche Forscher beim Inkarnatklee einen Wurzelanteil von 40 v. H. Bei unseren Wurzelgewichtsermittlungen, die, wie oben erwähnt, nicht ganz zuverlässig sind, fanden wir ähnliche Werte, die beim Inkarnatklee z. T. eher höher als niedriger lagen. Nehmen wir aber den Wert von 40 v. H. als zuverlässig an und wählen wir für den Wurzelanteil von Lupinen und Peluschken mit ihren Mischsaaten vorsichtshalber einen Wurzelanteil von 15 %, so würde sich im Durchschnitt ein Trockenmassenertrag der Wurzeln für die Gründüngungssaaten von Ziffer 1, 2, 9 und 10 von 4,69 dz/ha errechnen, was bei einem durchschnittlichen Stickstoffgehalt von 3,19 % in der Trockenmasse einem Stickstoffgehalt von 14,96 kg/ha entsprechen würde. Für die Gründüngungssaaten der Ziffern 3, 4, 11 und 12 würden die analogen Werte 9,36 dz/ha Trockenmasse und 26,21 kg/ha N in der Trockenmasse sein. Die höheren Kartoffelerträge nach einer Wurzelgründüngung von Inkarnatklee und auch nach seinen Mischsaaten würden also durch die größeren Stickstoffmengen, die sie den nachfolgenden Früchten zur Verfügung stellen, ihre sinnvolle Erklärung finden.

Die Erträge nach den Wasserrüben, die verfüttert wurden, sind in B, I praktisch genau so hoch wie in B, II, wenn man die schlechtere Bodenbeschaffenheit der Reihe B, I in Rechnung stellt. Nicht ganz eindeutig liegen die Verhältnisse bei den Ziffern 5—8. Während nach Mais und Raps wenigstens die Erträge der Maßteilstücke erreicht werden, bleibt der Kartoffelertrag nach Sonnenblumen um 12 v. H. und nach Sudangras sogar um rund 19 v. H. darunter. Wie in Reihe B, II stellen die Nichtleguminosen zu einem Teil also auch hier glatte Versager dar, zumal sie eine zusätzliche Stickstoffdüngergabe von 150 kg/ha Kalkammonsalpeter erhalten hatten!

Wie wir gesehen haben, ist die Ausnutzung der Gründüngung durch die Kartoffeln wegen der verhältnismäßig niedrigen Erträge des Jahres 1938 wenig befriedigend gewesen, obwohl z. T. erhebliche Mengen an Trockenmasse und damit auch an Stickstoff dem Boden einverleibt worden sind. In der Reihe B, I, in der die oberirdische Pflanzenmasse abgemäht und entfernt wurde, sind die Kartoffelerträge der Nachfrucht naturgemäß noch niedriger. Die Frage ist daher naheliegend und berechtigt, ob es vom wirtschaftlichen Standpunkt aus nicht richtiger gewesen wäre, von vornherein die oberirdischen Grünmassen durch Verfütterung zu nutzen und die Nachfrucht nur auf die Nutzung der Stoppel- und Wurzelrückstände zu verweisen. Wegen der

Kleinheit der Teilstücke und der Schwierigkeit der Durchführung konnte ein direkter Fütterungsversuch nicht durchgeführt werden, aber es soll versucht werden, die Frage auf rechnerischem Wege zu klären. Wir wollen bei unseren Berechnungen ausgehen von den tatsächlich geernteten Grünmassenerträgen und haben sie deswegen der Übersicht halber auf Hektarerträge umgerechnet. Sie werden in der Tabelle 3 noch einmal gebracht. Ferner finden

Tabelle 3.

Nummer	Fruchtart	Frischmasse	N in der Trockenmasse		Roheiweiß	Verdaulich. Eiweiß		Errechnete Milchmenge	
		dz/ha	%	kg/ha	kg/ha	%	kg/ha	nach gefundenen Werten	bei 100 dz/ha Grünmasse
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1.	Gelbe Süßlupinen	325	3,0	95,1	594	2,1	463,3	9266	2851
2.	Peluschken	250	3,9	105,5	659	2,4	448,1	8962	2758
3.	Inkarnatklee	174	3,1	76,0	475	2,1	365,4	7308	4200
4.	Inkarnatklee + Westerw. Raygras	146	2,7	62,4	390	2,1	292,5	5850	4000
5.	Mais	72	1,3	10,7	67	1,0	43,6	872	1210
6.	Sudangras	72	1,5	20,7	129	1,3	82,6	1652	2300
7.	Sonnenblumen	123	0,9	23,2	145	0,6	73,8	1476	1200
8.	Raps	66	2,2	32,7	204	1,8	118,8	2377	3541
9.	Peluschken Sudangras	244	3,2	107,8	543	1,6	358,4	7168	2937
10.	Gelbe Süßlupinen + Sudangras	268	2,5	85,2	532	1,8	399,0	7989	2828
11.	Inkarnatklee + Mais	169	2,7	66,7	417	1,5	296,1	5922	3500
12.	Inkarnatklee + Raps	150	2,7	58,0	362	2,2	267,9	5358	3572
13.	Wasserrüben	93	1,6	23,7	148	1,2	103,6	2072	2217

sich in dieser Tabelle Angaben über den in den Pflanzen gefundenen Gesamtstickstoff, berechnet auf absolute Trockenmasse, und die in der Trockenmasse je Hektar geerntete Stickstoff- und Roheiweißmenge. Es ist weiter berechnet worden das verdauliche Eiweiß in kg/ha. Der Stärkewertertrag blieb unberücksichtigt, da ihm im zusätzlichen Futter an sich Rechnung getragen zu werden pflegt. Die Prozentzahlen sind eigenen Analysen entnommen oder stellen Literaturangaben dar. Soweit solche benutzt wurden, haben wir uns bemüht, mittlere Werte zu wählen.

Nun wissen wir, daß neben dem Erhaltungsfutter zur Erzeugung von je 1 Liter Milch dem Tiere zugeführt werden müssen: 50 g verdauliches Eiweiß und 250 g Stärkewert. Mit den in Rubrik 6 angegebenen Nährstoffmengen lassen sich also die in Rubrik 7 verzeichneten Milchmengen erzeugen. Man sieht,

daß diese z. T. erstaunlich hoch liegen. Daß kommt daher, daß das Futter wegen seiner Jugend und Zartheit einen hohen Roheiweißgehalt besitzt und der verdauliche Anteil daher ebenfalls sehr hoch liegt. Entsprechend dem verschieden hohen natürlichen Eiweißgehalt der einzelnen Gründüngungspflanzen und ihrem sehr unterschiedlichen Ertrage schwanken die erzeugten Milchmengen daher in sehr weiten Grenzen.

So liefert der Mais bei seinem kläglichen Ertrage und bei seiner Eiweißarmut nur 872 l Milch, die Süßlupine aber 9266 l! Nimmt man nur einen Milcherzeugerpreis von 10 Pfennig je Liter an, so errechnet sich für den Mais ein Gelderlös von 87,2 RM./ha, dagegen für die Süßlupine ein solcher von 926,60 RM./ha! Daß diese errechneten Werte mit den möglichen Fütterungsergebnissen im Einklang stehen, ergibt folgende Feststellung aus unserer eigenen Versuchswirtschaft. Bei Verfütterung gelber Süßlupinen konnten wir mit 0,375 dz Grünfutter unter mäßiger Beigabe von Futterrüben, Kürbis oder Trockenschnitzeln, um das Eiweiß-Stärkewert-Verhältnis wirtschaftlicher zu gestalten, bei einem Milchviehbestande von rund 50 Kühen den Milchertrag ohne Beigabe von Kraftfutter wochenlang auf rund 600 l halten. Bei einer Fütterung eines Süßlupinenpeluschkengemisches war das gleiche Ergebnis zu verzeichnen. Bei Annahme obiger Erntemenge und gleichbleibender Futtermenge- und Güte hätten also die 50 Kühe 17 Tage lang mit 0,375 dz Süßlupinen unter Zugabe des nötigen Beifutters ernährt werden können und hätten dabei $50 \times 17 \times 12 = 10200$ l Milch gegeben! Die bei einer Leistungsfähigen Milchviehherde und sorgfältiger Fütterung tatsächlich erzielte und die in unserem Beispiel „errechnete" mögliche Milchmenge bei Verfütterung gehaltreicher Zwischenfrüchte liegen also nicht sehr weit auseinander! In der großen Praxis werden derartig günstige Ergebnisse natürlich im Durchschnitt nicht erzielt. Das liegt an mancherlei Gründen. Erstens liegt die Durchschnittsmilchleistung der Kühe erheblich niedriger als im vorliegenden Falle, zweitens findet im praktischen Betriebe niemals eine restlose Verwertung der gewachsenen Grünmassen statt. Das liegt daran, daß bei der Ernte vielfach mit zu hoher Stoppel gemäht wird und ein erheblicher Prozentsatz beim Zusammenrechen und Aufladen verloren geht oder durch Zerfahren, Zertreten usw. zugrunde gerichtet wird. Die größten Verluste aber treten in der Regel im Kuhstall selbst ein. Ein Teil wird beim Aufnehmen des Futters von dem Futtertisch von den Tieren fallen gelassen, fällt zu Boden und wird von den Tieren in die Einstreu getreten. Sind viel Fliegen im Stall, so benutzen die Kühe das Grünfutter beim Fressen in kopfschüttelnder Bewegung zum Fliegenscheuchen und lassen dabei ebenfalls sehr viel Grünfutter fallen. Es wird praktisch also bei üppiggewachsenem Futter kaum mit einer höheren als 60%igen Verwertung der wirklich gewachsenen oberirdischen Pflanzenmassen gerechnet werden können. Aber auch so würde noch eine Milchmenge von rund 6000 l gewonnen werden, die bei dem jetzt gültigen Milcherzeugerpreis von 12 Rpf./l einen Wert von 720 RM./ha besitzen würden!

Wie hoch stellt sich nun die Gesamtleistung der Grünfutterpflanzen? Bleiben wir bei unserem Beispiel! Nach Tabelle 2 B, I waren bei der Süßlupine in der Trockenmasse enthalten 95,1 kg/ha N. Weiter oben hatten wir festgestellt, daß der Stickstoffanteil der Wurzeln an der oberirdischen Masse höchstens mit 15% angenommen werden kann, das ist 18,7 kg/ha N. Es hatten also erzeugt brutto $95{,}1 + 13{,}7 = 108{,}8$ kg/ha N in den verfütterten Grünlupinen und den untergepflügten Stoppel- und Wurzelresten gegenüber den in der Schälfurche liegen gelassenen Felde: 6000 Liter Milch + 18 dz Kartoffeln. In Geldwert umgerechnet, bedeutet das eine Brutto-Einnahme als Nebennutzung vom Hektar von 18 dz Kartoffeln à 4 RM. = 72 RM. + 6000 Liter

Milch à 12 Pfg. = 720 RM., zusammen also 792 RM./ha oder anders ausgedrückt, das nicht mit Lupinen als Zwischenfrucht bebaute Feld hat in 2 Vegetationsjahren einen Brutto-Verlust von 792 RM./ha gebracht. Dieser setzt sich zusammen aus dem fortfallenden Erlös für nicht erzeugte Milch und dem Minderertrag an Kartoffeln bei der Nachfrucht. Die große wirtschaftliche Bedeutung des Anbaues von geeigneten Zwischenfrüchten ist darin zu sehen, daß der erzielt hohe Brutto-Ertrag in Form der „Nebennutzung" gewonnen worden ist. Was mir aber noch bedeutsamer erscheint, ist die Tatsache, daß die Nebennutzung in demselben Anbaujahr im vorliegenden Falle mit 720 RM/ha einen höheren Brutto-Ertrag ergeben hat als die Hauptnutzung, die im Roggen bestanden hatte. Dieser hatte nur etwa 20 dz/ha Körner und 40 dz/ha Stroh gebracht, was einem Brutto-Erlös von etwa 480 RM./ha entsprechen würde! Die übrigen Leguminosen und Leguminosengemische stehen in der tatsächlich erzeugten Milchmenge den Süßlupinen nicht viel nach, in der relativen Leistung ist ihnen der Inkarnatklee rein und im Mischbau jedoch überlegen. Es geht diese Tatsache hervor aus den Zahlen in Rubrik 8, welche die Milchmenge angeben, die je 100 dz Grünfutter der entsprechenden Pflanzenart erzeugt haben würden.

Die Nichtleguminosen bleiben in der „errechneten" Milchmenge mit Ausnahme des Rapses sehr erheblich hinter den Hülsenfrüchten und dem Inkarnatklee zurück, was mit den praktischen Fütterungsergebnissen durchaus im Einklang stehen dürfte. Die auffallend niedrige Milchleistung des Maises ist ein Zufallswert, der auf das Mißraten dieser Frucht zurückzuführen ist. Seine tatsächliche Leistung dürfte zwischen der des Sudangrases und der Wasserrüben liegen. Die Leistung der Sonnenblumen wird etwa zutreffend sein. Nur ist die Frage naheliegend, ob bei einer so minimalen Leistung des Grünfutters es nicht doch schließlich besser gewesen wär, den spärlichen Aufwuchs einfach unterzupflügen, um an Arbeit und Kosten zu sparen. Die Antwort auf diese Frage geben uns die Ertragszahlen für die geernteten Kartoffeln in der Tabelle 1. Im Durchschnitt sind durch das Unterpflügen der grünen Massen von Mais, Sudangras, Sonnenblumen und Raps 23,5 dz/ha weniger Knollen von der Nachfrucht geerntet worden als von nicht mit Grünfutterpflanzen bestellt gewesenen Flächen. Würde man diese Pflanzen aber nicht untergepflügt, sondern im Herbst 1937 verfüttert haben, so würden — in Anlehnung an die in Tabelle 3 errechneten Werte — an Milch erzeugt worden sein von Mais 1028 Liter, vom Sudangras 2300 Liter, von der Sonnenblume 2220 Liter und vom Raps 3080 Liter. Es würde also, wie aus den analogen Werten in Tabelle 2 hervorgeht, nicht nur der Kartoffelminderertrag wesentlich verringert bzw. sogar aufgehoben worden sein, sondern es hätte im vorliegenden Falle sogar der total mißratene Mais wenigstens die Kosten für die Kalkammonsalpetergabe

Tabelle 4. A, I

Fruchtart	Frischmasse		Trockenmasse		In der	
					N	
	dz/ha	m %	%	dz/ha	%	kg/ha
Blaue Süßlupine	118,0	7,70	20,9	24,7	2,8	69,1
Inkarnatklee.	285,0	5,22	14,4	41,0	2,8	114,8
Schweden-Weißklee . . .	151,0	4,30	17,3	26,1	3,2	83,5
Gelbklee	83,0	7,25	13,9	11,6	2,3	33,6
Gelbe Süßlupinen . . .	360,0	4,39	11,4	41,0	2,5	102,5
Standard (geschält) . . .	-			—	—	—
Brachbearbeitung . . .	—	—	—	—	—	—

A, II

Fruchtart	dz/ha	m %	%	dz/ha	%	kg/ha
Blaue Süßlupine	97,7	5,84	21,8	21,1	2,7	58,9
Inkarnatklee.	257,0	5,88	15,1	38,8	2,8	108,6
Schweden-Weißklee . . .	148,0	5,82	18,6	27,5	3,1	85,2
Gelbklee	66,0	6,62	18,1	11,9	2,6	30,9
Gelbe Süßlupinen . . .	385,0	5,64	11,1	42,7	2,6	111,0
Standard (geschält) . . .	—		-	—	—	—
Brachbearbeitung . . .	—	—	-	—	—	—

wieder hereingebracht, während die übrigen Pflanzen noch einen bescheidenen Nutzen gebracht haben würden. Daß der Raps im vorliegenden Falle verhältnismäßig gut abschneidet, liegt daran, daß er in sehr jugendlichem Zustand genutzt wurde, demnach einen hohen Anteil an verdaulichem Eiweiß enthält. Außerdem vermag er, wie wir aus anderen Untersuchungen wissen (4), den aufgenommenen Stickstoff schneller in Pflanzeneiweis umzusetzen als die mitgeprüften übrigen Nichtleguminosen.

Ein zweiter Gründüngungsversuch (A, I und A, II) sollte einen weiteren Beitrag zu der Frage liefern, ob es unbedingt notwendig ist, den im Zwischenfruchtbau angebauten Hülsenfrüchten und Kleearten eine Kaliphosphatdüngung zur Erzeugung einer möglichst großen Trockenmasse zu verabreichen.

Der Versuch wurde deshalb in 2 parallelen Reihen (A, I mit und A, II ohne Kaliphosphatdüngung) auf demselben Feldstück wie der Versuch B, I und B, II und unter denselben äußeren Bedingungen und am gleichen Tage gelegt. Die bei der Schilderung der Versuchsanordnung bei B, I und B II gemachten Angaben gelten sinngemäß auch für die Reihen A, I und A, II. Die zu A, I gegebene Kaliphosphatgabe bestand in 2 dz/ha 40%igen Kalisalz und 2 dz/ha Thomasmehl, die kurz vor der Saat gestreut und eingeeggt wurden. Beide Serien A, I und A, II enthielten durchlaufend noch ein Teilstück, auf welchem keine Gründüngungspflanze eingesät, sondern eine bracheartige Bearbeitung bis in den Spätherbst vorgesehen wurde. Während also auf den als Maßteilstücken dienenden „geschälten" Teilstücken Ausfallgetreide und Unkräuter sich ungestört entwickeln konnten, wurde jeglicher Pflanzenwuchs auf dem Teilstück mit Brachebearbeitung durch wiederholtes Hacken und Jäten unterdrückt. Um die auf dem Bracheteilstücke wahrscheinlich eintretenden Nährstoffverluste zu fassen, war eine Bodenanalyse bei der Einsaat der Gründüngung und im Spätherbst vorgesehen worden, wurde aus technischen Gründen aber nicht ausgeführt.

(mit Kali-Phosphatdüngung).

Trockenmasse				Kartoffeln		± gegenüber Standard	Relative Leistung Standard = 100	1 kg N erzeugte Knollen
P_2O_5		K_2O						
%	kg/ha	%	kg/ha	dz/ha	in %			kg/ha
1,16	28,6	3,43	84,7	211,0	2,47	+ 37,0	121,3	53,5
1,06	43,5	4,84(?)	198,4	264,0	8,62	+ 90,0	151,7	78,4
1,14	29,7	3,94	102,8	221,5	2,97	+ 47,5	127,3	56,9
1,12	13,9	3,03	35,1	203,5	3,60	+ 29,5	117,0	87,8
1,12	45,9	3,05	125,0	221,0	3,75	+ 47,0	127,0	45,0
—	—	—	—	174,0	14,16	—	100,0	—
—	—	—	—	139,0	5,76	— 35,0	80,0	—
						Durchschnitt		64,5

(ohne Kali-Phosphatdüngung).

1,13	23,8	3,39	71,5	—	—	—	—	—
0,97	37,6	3,84	149,0	—	—	—	—	—
1,07	29,4	3,70	101,7	—	—	—	—	—
1,04	12,4	2,78	33,1	—	—	—	—	—
1,14	48,7	3,49	149,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

Als Nachfruchte wurden Kartoffeln bestimmt. Dabei sollten A, I und A, II gleichmäßig nur die feldmäßig übliche Kaliphosphatdüngung erhalten, um die *absolute* Stickstoffwirkung der *Gründüngungspflanzen* und die *relative* der *einzelnen Pflanzen* zueinander zu ermitteln. Durch ein Mißverständnis des Sachbearbeiters erhielt jedoch *dieser Versuch* im Frühjahr 1938 *keinerlei Düngung!* Damit wurde die Versuchsanstellung auf eine ganz andere Ebene gedrängt und die Fragestellung in einem Sinne abgeändert, die uns bis zu einem gewissen Grade sogar angenehm war. Leider waltete über den Versuch ein unglücklicher Stern. Durch die wolkenbruchartigen Regen, die in Breslau im August und September niedergingen und 298,5 mm Regen brachte, litt die Reihe A, II derart, daß ein großer Teil der Knollen in der Erde verfaulte. Versuchsweise geerntete Teilstücke zeigten aber so große Differenzen in den Ertragen, daß die Ergebnisse nicht ausgeweitet werden konnten. Wir konnen für die Reihe A, II daher nur die Ertragszahlen fur die Gründüngung nach Frisch- und Trockenmasse und Nährstoffgehalt bringen. Sie sind mit den übrigen Werten der Reihe A, I in Tabelle 4 verzeichnet.

Die in jahrzehntelanger Praxis gesammelte Erfahrung, daß auf einem in gutem Kulturzustand befindlichen Boden eine in üblichen Grenzen gehaltene Kaliphosphatdüngung die Massenentwicklung stickstoffsammelnder Pflanzen im Zwischenfruchtbau nicht wesentlich zu beeinflussen vermag, hatte uns bisher davon abgehalten, unseren Zwischenfrüchten eine Kaliphosphatgabe zu verabreichen. Kleine Tastdüngungsversuche zu einigen Hülsenfrüchten und Kleearten hatten unsere praktischen Erfahrungen im wesentlichen bestätigt. Wenn wir uns die Trockenmassen in dz/ha der Reihen A, I und A, II ansehen, finden wir auch im vorliegenden Versuch eine Bestätigung unserer Auffassung. Zeigen doch die Ertrags- und Nährstoffzahlen für einen Feldversuch so großen Umfanges eine ganz hervorragende Übereinstimmung! Nur fällt auf, daß die Erträge in A, II, die, wie oben erwähnt, wegen der großen Fehler, mit denen sie behaftet sind,

im einzelnen nicht aufgeführt werden können, im großen und ganzen aber bedeutend niedriger liegen als in der Reihe A, 1. Nun haben die stickstoffsammelnden Pflanzen ja bekanntlich ein starkes Bodenaufschließungsvermögen. Im vorliegenden Falle hat sich dieses Vermögen in beiden Serien durchaus nach der gleichen Richtung und in gleicher Stärke ausgewirkt. Die zusätzliche Kaliphosphatgabe zur Reihe A, I ist also erst zur Nachfrucht wirksam geworden. Es wäre also interessant gewesen, zu verfolgen, ob eine im Frühjahr vor dem Legen der Kartoffeln gegebene Kaliphosphatdüngung nur die Steigerung der Erträge in A, II auf die Höhe der Ernten in A, I oder noch darüber hinaus bei A, I eine weitere Ertragssteigerung gebracht haben würde. Wir möchten es zunächst bezweifeln, wollen dieser Frage aber im Jahre 1939 noch in weiteren Versuchen nachgehen.

Sonst zeigt auch dieser Versuch wieder eine hervorragende Wirkung der Inkarnatkleegründüngung, die alle übrigen Gründüngungspflanzen weit hinter sich läßt. Die durchschnittliche Stickstoffleistung der Gründüngung mit 64,5 kg/ha Knollen für 1 kg/ha N entspricht etwa einem Wert, wie wir ihn in langjährigen Versuchen mehrfach gefunden haben.

Auch der Minderertrag der Bracheteilstücke mit rund 20% gegenüber den Maßteilstücken bringt für uns keine Überraschung, sondern bestätigt nur eigene frühere Befunde. Bei einem Gründüngungsversuch zu Mais hatte der Minderertrag der Bracheteilstücke gegenüber den ohne Gründüngung belassenen Maßteilstücken rund 16% betragen! Dieser wie der frühere Befund ist gewiß kein Zufallsergebnis, sondern zeigt mit aller Deutlichkeit, daß auf allen Bodenarten, in denen wegen ihrer Struktur Sicherungsverluste im Sommer unvermeidlich sind, die Zwischenfrüchte eine doppelte Aufgabe zu erfüllen haben. Einmal sollen sie durch Erweiterung der Futtergrundlage den Nahrungsspielraum unseres Volkes erweitern helfen, zum anderen haben sie nährstoffaufschließend und, wie wir gesehen haben, auch nährstoff-, besonders stickstofferhaltend zu wirken. Dafür, daß es immer noch besser ist, Aufwuchs und Unkraut sich entwickeln zu lassen, als durch fortwährende Bearbeitung den Acker „sauber" zu halten, bringen unsere Versuche einwandfreie Belege. Daß aus betriebswirtschaftlichen Gründen trotzdem eine Brachebearbeitung sich hin und wieder als notwendig erweist, berührt die zur Rede stehende Frage nicht. Dann wiegen die betriebswirtschaftlichen Erwägungen eben schwerer als Fragen der Statik oder der Ernährungsphysiologie.

Schlußbetrachtung und Zusammenfassung der Ergebnisse.

Daß die ausgedehnte Anwendung der Gründüngung in Form von gelben und blauen Lupinen (Lupinus luteus und Lupinus angustifolius) die leichtesten Böden des östlichen Deutschland z. T. überhaupt erst kulturfähig gemacht hat, darf als bekannt vorausgesetzt werden. Die guten Erfahrungen, die man mit den Lupinen, die wegen ihres bitteren Geschmackes vom Vieh nicht ge-

fressen wurden und daher nicht verfüttert werden konnten, bei ihrer Nutzung als Gründüngung gemacht hatte, übertrug man sehr bald auch auf andere Pflanzen und Pflanzengruppen mit ähnlichen Eigenschaften. Und das Unterpflügen von Serradella, Peluschken, Pferdebohnen, Wicken und Kleearten aller Art gehörte zu den selbstverständlichen Gepflogenheiten einer fortschrittlichen Landwirtschaft, obwohl Männer der Wissenschaft — die älteren Landwirte werden sich gewiß noch an den erbitterten Federkrieg zwischen Julius Kühn und dem Gründüngungsfanatiker Ring-Duppel bei Berlin erinnern — sich stets gegen eine allgemeine Einackerung von stickstoffsammelnden Pflanzen zum Zwecke der Düngung ausgesprochen hatten.

In der Tat hatte die Frage, ob „Unterpflügen" oder „Verfüttern" so lange mehr einen akademischen Charakter als der Landwirtschaft unbegrenzte Mengen eiweißhaltigen Futters zu einem billigen Preise zur Verfügung standen. Durch Überführung der „freien" in die „gebundene" Wirtschaft und mit der zunehmenden Devisenverknappung haben die Verhältnisse sich indessen grundlegend gewandelt. Mit Recht werden daher vom deutschen Forschungsdienst große Mittel aufgewendet, um durch Züchtung von eiweißreichen bodenständigen Pflanzen die Futterbasis zu erweitern und die Ernährung des Volkes auf eigener Scholle zu sichern. Durch die Bereitstellung einer bitterstoffarmen Lupine, der sogenannten Süßlupine, ist der wissenschaftlichen Pflanzenzüchtung daher ein großer Wurf gelungen, und es wird immer ein unsterbliches Verdienst Erwin Bauers bleiben, die Anregung zu dieser Züchtung gegeben zu haben. Mit dem Vorhandensein dieser Süßlupine muß aber auch in der Nutzung dieser Pflanze wie aller übrigen Pflanzengruppen eine grundlegende Änderung eintreten, weil es vom privat- wie volkswirtschaftlichem Standpunkt aus nicht mehr verantwortet werden kann, daß Pflanzen untergepflügt werden, die durch Verfütterung eine weit zweckmäßigere Verwertung finden.

Der Gefahr, daß auf leichtem Boden bei ausgedehntem Kartoffelbau der Stallmist nicht ausreicht, um allen Kartoffelschlägen eine langsamfließende Stickstoffquelle zu sichern und den nötigen Humus in den Boden zu bringen, kann in gewisser Weise durch den Mischbau von Lupinen und Inkarnatklee wirksam begegnet werden. Bei unseren Versuchen hatten wir gefunden, daß die Inkarnatkleegründüngung auch dann in ihrer Einwirkung auf die Nachfrucht mit den besten Gründüngungspflanzen wirksam zu konkurrieren vermag, wenn nach dem Gewicht der erzeugten oberirdischen Masse mit einem Minderertrag nach Klee gerechnet werden mußte. Wir hatten diese Erscheinung auf die im Verhältnis zur grünen Pflanzenmasse relativ große Wurzelentwicklung zurückführen können, die z. B. beim Inkarnatklee etwa 40 v. H. derselben ausmacht, während bei den Lupinen von uns selten mehr als 10 v. H. ermittelt werden konnten. Auch aus den im vorliegenden Bericht mitgeteilten Ergebnissen geht die Überlegenheit einer Inkarnatkleewurzeldüngung über die aller anderen im Vergleich angebauten Gründüngungspflanzen

einwandfrei hervor. Deswegen wird es zweckmäßig sein, in die zum Zwecke der Futtergewinnung im Zwischenfruchtbau angebauten Süßlupinen stets Inkarnatklee einzusäen, um diesen mit den Stoppel- und Wurzelresten der abgefutterten Süßlupinen als Gründüngung für die nachfolgende Frucht unterzupflügen.

Im übrigen wird dieses Verfahren nicht nur von uns in unserer Versuchswirtschaft, sondern auch von einigen fortschrittlich eingestellten Landwirten in der Provinz Schlesien bereits seit einigen Jahren, und mit bestem Erfolge angewandt.

Wir fassen also noch einmal zusammen, was wir gefunden haben.

1. Bei vergleichenden Gründüngungsversuchen mit verschiedenen Pflanzen konnten frühere Ergebnisse bestätigt werden.

2. Die bracheartige Behandlung des geschälten Ackers nach voraufgegangenem Roggen wirkte sich ertragsdrückend auf die Nachfrucht des folgenden Jahres aus, was mit Stickstoffsickerverlusten erklärt wird.

3. Nach Verfütterung der oberirdischen Frischmassen wurden nach Inkarnatklee die höchsten Knollenerträge erzeugt. Der Mehrertrag wird in Beziehung gebracht zur starken Wurzelbildung, die erhebliche Stickstoffreserven enthält.

4. Eine Kaliphosphatdüngung steigerte den Trockenmassenertrag der Zwischenfrüchte nicht, hob aber die Erträge der Nachfrucht.

5. Das Unterpflügen von Nichtleguminosen zum Zwecke der Gründüngung ist nicht zu empfehlen, da die Erträge nach ihnen niedriger liegen als nach den „ohne Gründüngung" belassenen Maßteilstücken.

6. Das Unterpflügen von im Zwischenfruchtbau angebauten Pflanzen ist im Verhältnis zur Verfütterung stets mit Verlust verbunden und sollte daher bei allen Pflanzen unterbleiben, die vom Vieh gefressen werden.

Schrifttum.

1. Berkner, F.: Ein Beitrag zur Gründungungsfrage. Landw. Jb., Berlin, **73**, 1931, H. 5, 691—840.
2. Berkner, F.: Gründüngungsfragen Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **40**, 1935, 82—108, **44**, 1936, 140—154; u. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **4**, (**49**.), 1937, 176—188 u. **11**, (**56**.), 1938, 49—56.
3. Gründüngungsversuche (2. Folge). Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **4** (**49**.), 1937, 176—188.
4. Siebert, H.: Der Einfluß von steigenden Stickstoffgaben auf Ertrag und Güte einiger Zwischenfrüchte. Landw. Jb., Berlin, **87**, 1939, 158. [283]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3 — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig) — Verlag Chemie, G. m. b H, Berlin W 35, Corneliusstr. 3

14. (59.) Band. 1939. Heft 1/2.

Bodenkunde und Pflanzenernährung

Neue Folge der
„Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde"

Herausgegeben von der Reichsarbeitsgemeinschaft
„Landwirtschaftliche Chemie" im Forschungsdienst



Verlag Chemie, G.m.b.H., Berlin

Die Zeitschrift „Bodenkunde und Pflanzenernährung" schließt an die „Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde" Band 1 bis 45 an. Sie ist, in engster Fühlung mit dem Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungsanstalten, das wissenschaftliche Organ der Reichsarbeitsgemeinschaft „Landwirtschaftliche Chemie", der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und der Fachgruppe „Landwirtschaftschemie" des Vereins Deutscher Chemiker.

Für die **Herausgabe** und für die **wissenschaftliche Schriftwaltung** zeichnet der Obmann der Reichsarbeitsgemeinschaft „Landwirtschaftliche Chemie", Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem, verantwortlich.

Ihm steht eine Reihe von Vertretern verschiedener Fachgebiete als **Redaktionsausschuß** beratend zur Seite.

Die **Geschäfte der Schriftwaltung** führt Dr. E. Gerdum im Schrifttumsamt des Forschungsdienstes. Alle die wissenschaftliche und technische Schriftwaltung der Zeitschrift betreffenden Zuschriften sind an das Schrifttumsamt des Forschungsdienstes, Berlin-Dahlem, Podbielskiallee 25/27, zu richten.

Die Verfasser erhalten 30 Heftteile ihrer Beiträge kostenfrei. Weitere Exemplare werden gegen Berechnung geliefert. Bestellungen bei Mehrbedarf sind spätestens bei Rücksendung der Fahnenkorrektur mittels Postkarte unmittelbar beim Verlag aufzugeben.

Alle den **Verlag** und **Vertrieb** betreffenden Zuschriften werden an den Verlag Chemie, G.m.b.H., Berlin W 35, Corneliusstraße 3, erbeten. —

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge, 6 Hefte bilden einen Band. Es erscheinen jährlich mindestens vier Bände Preis je Band RM. 18.-, Ausland RM. 19.-; gesenkter Auslandpreis je Band RM. 14.50 bei Zahlung in Devisen, freier Reichsmark oder auf Verrechnungskonto. Einzelhefte RM. 3.50, gesenkter Auslandpreis RM. 2.65.

Ertragskurven, Ertragsgesetze und die Bedeutung der gegenseitigen Beeinflussung der Wachstumsfaktoren.

Von **O. de Vries.**
Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande.
Eingegangen: 31. März 1939.

Bei Bodenfruchtbarkeits-Studien steht der Ertrag im Vordergrund des Interesses; nicht nur die Weise, in der die einzelnen Wachstumsfaktoren den Ertrag beeinflussen, sondern auch die gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren haben schon seit langem die Gedanken gefesselt. Die allmählich vollständiger ausgebauten Ertragsgesetze — von denen hier, als die wichtigsten, besonders zu besprechen sind: das Gesetz des Minimums von J. von Liebig, das Gesetz des Optimums von G. Liebscher und das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren von E. A. Mitscherlich — halten mit dieser Beeinflussung in verschiedener Weise Rechnung. Sie geben aber kein vollständiges Bild von der Sachlage; es scheint von Interesse, das Problem zusammenfassend zu behandeln und die bisherigen Betrachtungsweisen zu ergänzen und zu vervollständigen.

In einfachster Form läßt sich das Gesetz des Minimums wiedergeben wie in Abbildung 1. Der Wachstumsfaktor W_1, der

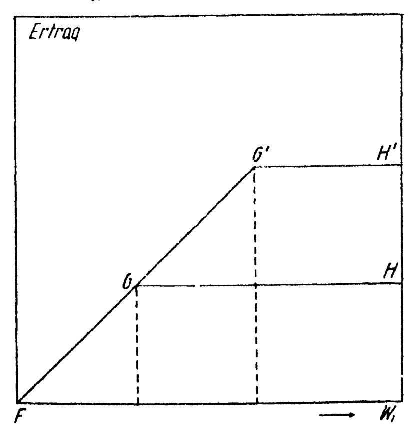


Abb. 1. Gesetz vom Minimum von J. von Liebig in seiner strengsten Form, wobei der Ertrag gradlinig ansteigt in direktem Verhältnis zum Wachstumsfaktor W_1 (Strecke F G) bis ein anderer Wachstumsfaktor W_2 verbraucht ist und ins Minimum kommt (Strecke G H oder, bei größerem Vorrat an W_2, G' H').

im Minimum ist, beherrscht und beschränkt den Ertrag in der Strecke F G, und zwar mit gradlinigem Anstieg, da die anderen Wachstumsfaktoren, alle gegenüber W_1 im Überschuß anwesend, nur in festem Verhältnis zu W_1 ausgenutzt werden können, wie wenn sie sich mit W_1 zu einer chemischen Verbindung mit konstanter Zusammensetzung verbanden. Der Überschuß bleibt zunächst wirkungslos, bis ein zweiter Wirkungsfaktor W_2 durch

die erhöhte Gabe an W_1 ins Minimum gerät, worauf höhere Gaben von W_1 wirkungslos bleiben (waagerechte Strecke G H). Bei größerem Vorrat an W_2 stellt sich das Maximum höher, bei G'H', ein.

Liebscher (1, Seite 216) formulierte mit seinem Gesetz des Optimums deutlich eine Ergänzung zu Liebigs Gesetz, nämlich daß „die Pflanze den im Minimum vorhandenen Produktionsfaktor zu um so größerer Produktion benutzen kann, je mehr sich die anderen Produktionsfaktoren für sie im Optimum befinden". Also ein größerer Ertrag bei gleichem W_1, wenn andere Wachstumsfaktoren reichlicher vorhanden sind. Dies läßt sich wie in der unteren Hälfte von Abbildung 2 wiedergeben: F K liegt höher als F G.

Einem ähnlichen Gedankengang folgend, kann man auch den Abfall vom maximalen Ertrag betrachten, wenn ein Wachstums-

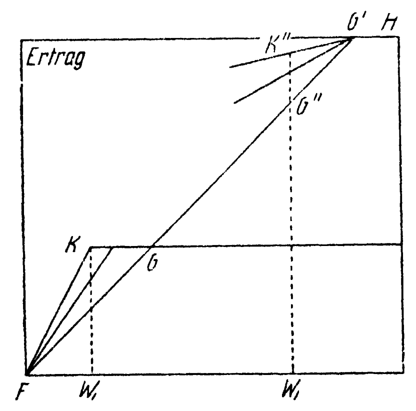


Abb. 2. Der Ertrag wird, nach G. Liebschers Gesetz des Optimums, nicht nur vom Wachstumsfaktor W_1 bestimmt, sondern auch von den anderen Produktionsfaktoren. F K liegt höher als F G, je nachdem die anderen Produktionsfaktoren sich günstiger gestalten. Desgleichen kann der Abfall vom Maximum geringer sein, als wenn das Gesetz des Minimums herrscht (G' K'' liegt höher als G' G'').

faktor W_1 zu fehlen beginnt (obere Hälfte von Abb. 2): je nachdem die anderen Wachstumsfaktoren günstiger sind, wird der Ertrag weniger abfallen (G'K'' liegt höher als G'G'', also das Ertragsmaximum ist flacher).

Es entwickelten sich dann die Ertragskurven, einerseits als empirisch gefundene Kurven, für welche zunächst keine Gesetzmäßigkeit oder mathematische Formulierung postuliert wurde, andererseits zusammengefaßt in verschiedenen Wirkungsgesetzen, wovon nur das Mitscherlich'sche hier besprochen werden soll. Die in Abbildung 2 angedeutete Streuung der Ertragskurven war dabei kein Streitpunkt mehr und ebensowenig ihre gebogene Form; es ging vornehmlich um die angebliche Konstanz des Wirkungsfaktors c und um die damit zusammenhängende konstante oder veränderliche Lage des Ertragsmaximums oder Optimums. Bekanntlich formulierte Mitscherlich sein Gesetz so, daß die Wirkung einer bestimmten Menge eines Wachstumsfaktors zwar vom Niveau der anderen Wachstumsfaktoren beeinflußt werde, diese Menge aber, unabhängig von diesen anderen Wachstumsfaktoren, immer einen festen Prozentsatz hervorbringe vom Maxi-

malertrag (A), der durch Steigerung des W_1 bei jeweilig gleichbleibenden anderen Wachstumsfaktoren erreichbar sei (Abb. 3).

Gegenüber Liebigs gegenseitiger Gebundenheit der Wachstumsfaktoren, die nur in festem Verhältnis sich auswirken kön-

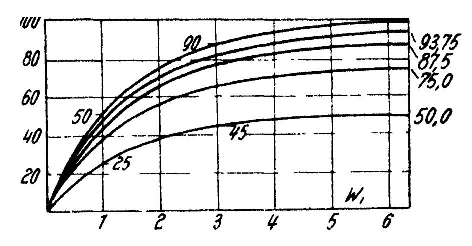


Abb. 3. Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren nach Mitscherlich-Baule. Der Maximalertrag A ist abhängig vom Niveau der anderen Wachstumsfaktoren; bei einer bestimmten Gabe an W_1 ist der prozentuale Ertrag aber immer der gleiche: z. B. bei der Abszisse 1 ist der Ertrag die Hälfte (25 bis 50); bei 3 ist sie 90% (45 bis 90) usw.

nen, war nun bei Mitscherlich jeder einzelne Wachstumsfaktor gebunden durch seinen konstanten Wirkungsfaktor, welcher seine Wirkung festlegte, und zwar unabhängig von den anderen Wachstumsfaktoren.

Von mehreren Forschern wurde aber eine andere Sachlage experimentell festgestellt, wobei das Ertragsmaximum bei verschiedenen Wachstumsbedingungen nicht beim gleichen Wert des wechselnden Wachstumsfaktors gefunden wurde, sondern sich nach höheren Werten verschob, wenn das Fruchtbarkeitsniveau höher war. A. Rippel gab eine zusammenfassende Übersicht über das Schrifttum (2); als neueres Beispiel sind in Abbildung 4 Ertragskurven für Gefäßkulturen mit Wiesenschwingel (Festuca pratensis) zusammengestellt nach den in der im Königsberger

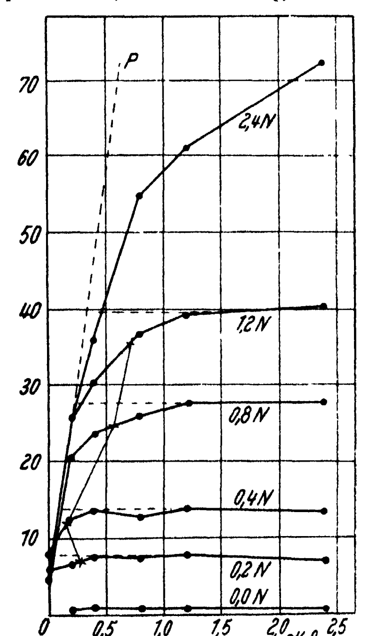


Abb. 4. Ertragskurven fur Wiesenschwingel in Sandkultur nach Versuchen von S. Landeck, mit steigenden Kaligaben bei verschiedenen Stickstoffstufen. Verschiebung des Maximumertrags nach rechts, welche dem Gesetz des Minimums sich ziemlich annähert.

Institut für Pflanzenbau durchgeführten Doktorarbeit von S. Landeck (3, Tabelle XXVII) enthaltenen Zahlen. Die Ertragskurven bei steigenden Kaligaben erreichen den Maximumertrag mehr nach rechts, je höher die Stickstoffstufe.

Die Ertragskurven schließen sich der in Abbildung 1 gegebenen Liebigschen Vorstellungsweise enger an als in manchen anderen im Schrifttum erwähnten Beispielen; für die 4 kleinsten Stickstoffgaben (0,2—1,2 g N als NH_4NO_3 je Gefäß) ist bei höheren Kaligaben der Verlauf nahezu horizontal. Verlängert man diese Strecken (wie durch gestrichelte Linien angegeben), so geben diese mit O P ein der Abbildung 1 ähnliches Bild; in Wirklichkeit sind die Kurven in der Schulter abgerundet, der maximale Ertrag wird bei höheren Stickstoffstufen erst bei höheren Kaligaben erreicht als durch O P angegeben. Mit einem Kreuzchen sind in Abbildung 4 die Punkte angegeben, wo der Ertrag 10% niedriger ist als der maximale; bei höherer Stickstoffstufe liegen diese Kreuzchen mehr nach rechts.

Im Königsberger Institut wurden in mehreren Arbeiten ähnliche Verhältnisse gefunden mit teilweise sehr ausgedehnten

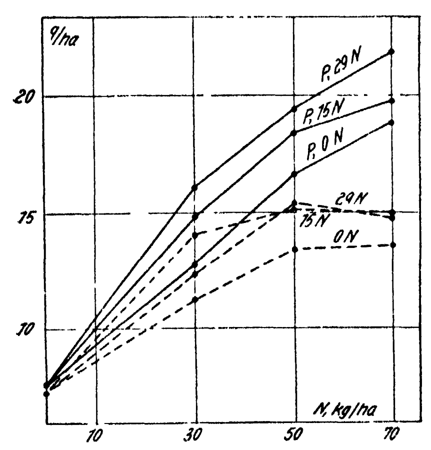


Abb. 5. Roggenerträge auf einem Versuchsfeld auf Sandboden bei steigenden Stickstoffgaben im Frühling, fur „mit" bzw. „ohne" Phosphat, und zwar bei verschiedener Stickstoffgabe (0, 15, 29 kg/ha) im Herbst.

Serien von Nährstoffgaben; so in vollständigen Serien von Kombinationen von N, P und K bei Hafer in Sandkultur (4, Seite 63) und auch in Fällen, wo nicht 2 Nährstoffe, sondern die Stickstoffwirkung bei verschiedenem Wasserniveau studiert wurde (5, Seite 481). In allen Fällen findet man bei höherem Ertragsniveau eine deutliche Maximumverschiebung nach rechts und eine entsprechende Abnahme von c, wenn man die Mitscherlichsche Formel anlegt.

Daß ähnliche Verhältnisse auch im Felde vorkommen können, zeigt Abbildung 5 für eines unserer Versuchsfelder auf armem Sandboden, worüber F. van der Paauw bei späterer Gelegenheit ausführlich berichten wird, und wo bei steigenden Stickstoffgaben (im Frühling) der maximale Ertrag mit Phosphatdüngung

(und verschiedenen ergänzenden Stickstoffmengen im Herbst) deutlich mehr nach rechts zu finden ist als auf den Teilstücken ohne Phosphat.

Bei mehreren von unseren Feldversuchen mit Kalk- oder Phosphatstaffeln zeigten sich nun Andeutungen von einer anderen Formveränderung bei Kurvenserien für steigende Fruchtbarkeitsniveaus. Auch die Praxis kennt Regeln, wonach bei höherer Fruchtbarkeit der schädigende Einfluß eines Mangels nicht deutlicher auftritt, sondern im Gegenteil sich verflacht oder ausgepuffert wird; allgemein ist z. B. die Erfahrung, daß auf den leichten Böden eine Stallmistdüngung die schädigenden Folgen eines niedrigen p_H-Wertes größtenteils beseitigt. Die Beweiskraft eines ersten Beispiels (6, Seite 44; 7, Seite 87) bei einer Serie Ertragskurven (Kalkstaffeln bei verschiedenen Phosphatstufen) zeigte sich bei kritischer Betrachtung nicht einwandfrei[1]; W. C. Visser (8, Seite 313) fand aber beim Verarbeiten von p_H-Staffelversuchsfeldern unserer Versuchsstation mehrere Beispiele von einer Maximumverschiebung nach links, zu dem sich ein gutes Beispiel für Roggen von P. Bruin (9, Seite 814) gesellte, während F. van der Paauw (10, Seite 795) eine Betrachtungsweise für Versuchsfelder mit dem Achtobjektenschema von Liebscher (O, N, P, K, NP, NK, PK, NPK) ausarbeitete und dabei Maximumverschiebungen sowohl nach links als nach rechts feststellte. Als Beispiel zeigt Abb. 6 eine Zusammenfassung von W. C

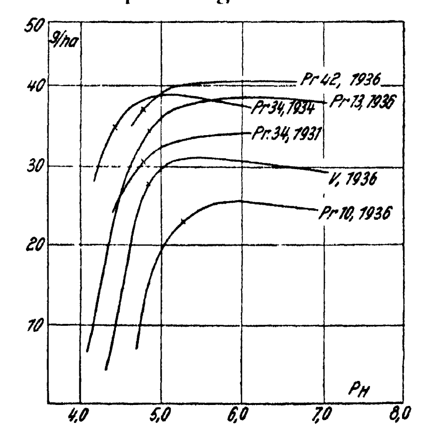


Abb. 6. Goldgerste auf verschiedenen Versuchsfeldern und in verschiedenen Jahren (W. C. Visser). Striche: Ertrag um 10 % niedriger als der maximale. Verschiebung nach links bei höherem Ertragsniveau.

Visser (8, Seite 346) für 6 Versuchsfelder mit Goldgerste, wobei (wie in Abb. 4) die Punkte angegeben sind, wo der Ertrag um 10 % niedriger war als der maximale; man sieht im Durchschnitt eine deutliche Verschiebung nach links bei steigendem Ertragsniveau.

[1]) Das Phosphat wurde als $Ca(HPO_4)_2$ gegeben; abgesetzt nach den totalen Kalkgaben anstatt nach den Kalziumkarbonatstaffeln, bringen die Kurven jedoch keinen überzeugenden Beweis für eine flachere Ertragskurve bei höherer Phosphatstufe



Auch bei anderen Wachstumsfaktoren kommen ähnliche Verhältnisse vor; so zeigt Abb. 7 Ertragskurven für Mais bei verschiedenem Standraum (Pflanzen per acre), welche aus Zahlen von C. A. Mooers (11, Seite 16) zusammengestellt sind, und zwar oben für einen guten Boden in Knoxville, unten die niedrigeren

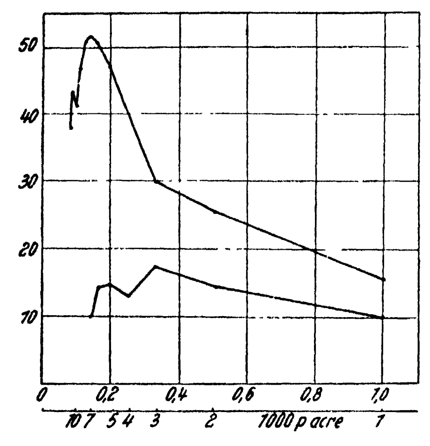
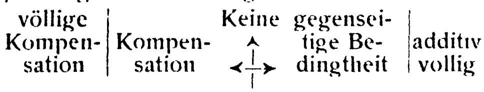


Abb. 7. Maiserträge bei verschiedenem Standraum, auf gutem Boden (oben) und weniger gutem Boden (unten), nach C. A. Mooers.

Erträge für einen weniger guten Boden in Jackson. Bei höherem Fruchtbarkeitsniveau liegt das Ertragsmaximum deutlich mehr nach links.

Dem Vorkommen einer derartigen Verschiebung nach links war bis jetzt im Schrifttum noch keine Aufmerksamkeit ge-

Gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren



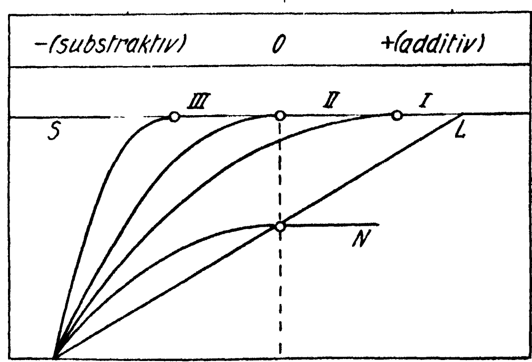


Abb. 8. Übersichtsschema für die gegenseitige Beeinflussung der Wirkungsfaktoren und deren Effekt auf die Ertragskurve.

schenkt worden. Wenn man nun die Verhältnisse vervollständigt zusammenfaßt, kommt man zu dem in Abb. 8 gegebenen allgemeinen Schema für die gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren. Dabei gilt für L das Liebigsche Gesetz vom Minimum im vollen Umfang; der eine Wachstumsfaktor

braucht volle Anfüllung von den anderen Wachstumsfaktoren. Auch bei Fall I müssen die Wachstumsfaktoren einander anfüllen, sie bedingen sich gegenseitig; es gilt das Liebigsche Gesetz in der von Liebscher gemilderten und vervollkommneten Form. Die Wachstumsfaktoren sind gegenseitig gebunden und müssen einander anfüllen; zunehmende Gaben des einen können nicht wirken, wenn nicht genügende vom anderen ergänzend dazu kommen. In der Praxis pflegt man in solchen Fällen wohl von Harmonie der Nährstoffe zu reden, also einer bestimmten, wenn gleich nach Umständen wechselnden Zusammengehörigkeit; wenn mehr von einem Nährstoff gegeben wird, so muß die Versorgung mit anderen entsprechend erhöht werden, damit der höhere Ertrag sich harmonisch bilden kann und keine Nährstoffdisharmonie die Erfolge beeinträchtigt. Die von Rippel und anderen gegebenen Beispiele gehören alle zu diesem Fall I.

Während bei Fall I der Punkt, wo der maximale Ertrag erreicht wird, sich nach rechts verschiebt, wenn man von einem niedrigeren Fruchtbarkeitsniveau N zu einem höheren übergeht, findet diese Verschiebung in Fall II in senkrechter Richtung statt: es stellt dies das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren nach Mitscherlich-Baule dar, wobei die Wirkung des Wachstumsfaktor unabhängig ist von dem Niveau der anderen Wachstumsfaktoren und also keine Beeinflussung stattfindet.

Zwischen Fall I — gegenseitige und notwendige Bedingtheit der Wachstumsfaktoren — und dem nun zu besprechenden Fall III mit negativer Gebundenheit nimmt Fall II als Grenzfall oder Spezialfall eine Sonderstelle ein, gewissermaßen die Nullstelle (keine Beeinflussung).

Bei Verschiebung des Maximums nach links, wenn man von dem niedrigeren Fruchtbarkeitsniveau N zu einem höheren kommt, findet eine Kompensation statt, sei es, daß beim höheren Fruchtbarkeitsniveau der Boden für den unzureichenden Wachstumsfaktor eine Kompensation liefert in Form von Ergänzung oder Ersatz, sei es, daß die Pflanze selbst sich anpaßt — wie es ihre Lebensregel ist — und dadurch Kompensation findet.

Wie in solchen Fällen eine Kompensation stattfindet, wird einen interessanten Gegenstand agrochemischer und agrophysiologischer Forschung bilden können; dabei kann man als Beispiele an folgende bekannte oder vorausgesetzte Fälle denken[2]:

a) eine höhere Kalkstufe verbessert die Verfügbarkeit von Phosphat in eisenhaltigen Böden; die Ertragsdepression bei Phosphatabnahme ist geringer bei höheren Kalkstufen;

b) bessere Bodenverhältnisse (Struktur, Wasserhaushalt, Temperatur, Tiefgründigkeit, Phosphatversorgung usw.) verursachen

[2]) Siehe auch die Auseinandersetzungen von F. van der Paauw, (10, Seite 801).

ein ausgedehnteres und kräftigeres Wurzelsystem, wodurch der Bodenvorrat eines größeren Areals ausgenutzt wird und die zugängliche Nährstoffreserve im Boden von der Pflanze besser ausgenutzt wird;

c) bessere Wachstumsverhältnisse veranlassen eine stärkere Vorrats- oder Reservebildung in der Pflanze (größere Blätter, Knollen usw.) und daher regelmäßigeres kräftigeres Wachstum;

d) bessere Bodenverhältnisse ermöglichen ein kräftigeres Bakterienleben im Boden und somit Mobilisation von Nährstoffen;

e) bestimmte Nährstoffe können einander ersetzen; ein Vorrat an Natrium kann z. B. eintretenden Kalimangel auffangen, weil Natrium teilweise an Stelle von Kalium tritt;

f) die Pflanze paßt sich an, sei es morphologisch, indem sie bei Nährstoffmangel ein dichteres Wurzelnetz entwickelt an Stellen, wo der betreffende Nährstoff verfügbar ist, sei es physiologisch, indem sie je Einheit Wurzelmasse mehr vom betreffenden Nährstoff aufnimmt.

Mit diesen Möglichkeiten wird vorderhand nichts für bestimmte Fälle behauptet; es sei damit nur angedeutet, daß die in Fall III angenommene Kompensation nicht etwas Undenkbares ist, im Gegenteil sich bekannten Sachverhältnissen direkt anschließt.

Als äußerste Form dieser Gruppe III stellt sich dann Fall S in Abb. 8, die waagerechte Linie des maximalen Ertrags, wobei das Weglassen des betreffenden Wachstumsfaktors ohne jeglichen Effekt ist; dieser wird also entweder vollständig kompensiert, oder er ist völlig wirkungslos.

Betrachtet man nun an Hand des in Abb. 8 gegebenen allgemeinen Schemas die Fälle, welche sich tatsächlich vortun, so ist es klar, daß eine gewisse Anzahl sich so nahe dem Mittelfall II anschließen wird, daß man bei den unvermeidlich großen Beobachtungsfehlern der Experimente auf unserem Gebiet nicht wird feststellen können, ob tatsächlich Fall II vorliegt oder ein Fall I bzw. III, der nur wenig davon verschieden ist.

Man wird also in einer Anzahl Fälle mit ziemlicher Genauigkeit auf Fall II schließen können, also Berechnungen machen und Betrachtungen halten auf Grund von konstanten Wirkungsfaktoren c (Wirkungsgesetz von Mitscherlich-Baule). In vielen anderen Fällen jedoch — und je nach der Genauigkeit, mit welcher man seine Schlußfolgerungen ziehen will — wird dies nicht statthaft sein. Als Mittelfall wird das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren manchmal eine befriedigende Annäherung geben, wobei die gewählte Formel mit seiner logarithmischen Kurve und drei Parametern — eine (A) für die senkrechte Umformung, eine (b) für die waagerechte Verschiebung, und eine (c) für die Neigung der Kurve — zur Wiedergabe von Ertragskurven sehr brauchbar ist; in mancher Hinsicht wird es jedoch wünschenswert und manchmal notwendig sein, um die im allgemeinen Schema angegebenen Fälle scharf auseinander zu halten,

weil in der Praxis die Verhältnisse manchmal ausgesprochen gemäß Fall I oder Fall III liegen.

Wenn man, um Kalimangel-Erscheinungen auf einem Demonstrationsfeld deutlicher zu zeigen, die Stickstoffdüngung verstärkt; wenn man höhere Kaligaben gibt als im Durchschnitt nötig sind, um sich zu sichern, daß man auch in einem besonders guten Jahre den höchsten Ertrag erhält, oder wenn man bei erhöhter Stickstoffdüngung extra Kali und Phosphat zusetzt, so legt man Verhältnisse nach Fall I zugrunde. Wenn man die Erfahrung macht, daß Stallmist den Schaden eines zu niedrigen pH-Werts vermindert und daß die Pflanzen auf fruchtbarem Boden diesen besser vertragen; wenn man folgert, daß Phosphatdüngung in schlechten Jahren lohnender und notwendiger ist als in guten (12, Seite 259), so hat man es mit Fall III zu tun, und hierunter fällt auch die bessere Kaliwirkung in schlechten Jahren, wobei die Sonnenscheinmenge als Erklärung (13) herbeigezogen wird (Kompensation).

Für die praktische Beratung ist es von Wichtigkeit, um über diese Verhältnisse besser unterrichtet zu sein; denn die Basis der Beratung wird manchmal grundsätzlich anders sein müssen, wenn man mit Fall I bzw. Fall III zu tun hat. Bei Verhältnissen nach Fall I wird bei Verbesserung eines Wachstumsfaktors (z. B. höhere Stickstoffdüngung) an eine Verstärkung von anderen Wachstumsfaktoren (z. B. Kali oder Phosphat) gedacht werden müssen; bei Verhältnissen nach Fall III (z. B. Verbesserung der Wachstumsverhältnisse durch Bekalkung, durch Stallmist usw.; hohes Fruchtbarkeitsniveau gegenüber niedrigerem) wird man an sparsamere Phosphat- oder Kalidüngung denken können, usw. Auch die wichtige Frage, ob man einem hohen Ertrag in erster Linie nachstreben soll durch hohe Düngergaben, oder ob man in erster Linie die äußeren Umstände, die Bodenfruchtbarkeit, den Wasserhaushalt, möglichst optimal gestalten soll, um dann mit weniger Düngemitteln auskommen zu können, hängt engstens mit den behandelten Fragen zusammen. Bei der Deutung von Bodenanalysen-Zahlen darf man diese Betrachtungen ebensowenig aus dem Auge lassen; wenn, bei der Beziehung zwischen Bodenfruchtbarkeit und dem pH-Wert Fall III vorliegt (wie in einigen oben erwähnten Beispielen), so wird die zulässige pH-Grenze bei fruchtbaren Böden niedriger liegen als bei armen Böden, und ebenso für die Kali- oder Phosphat-Grenzzahlen. So kommt W. C. Visser für leichte Böden in unserem Lande zu der Schlußfolgerung, daß für Roggen in ungünstigen Fällen ein pH-Wert (in Wasser) von 6 bis 6,5 erforderlich ist, während in günstigen Fällen erst bei pH 4,8 eine Ertragsdepression zu fürchten ist (a. a. O. S. 344).

Es ist klar, daß es von großer Wichtigkeit sein wird, bei Bodenfruchtbarkeits- und Ertragsstudien künftighin diesen Punkten erhöhte Aufmerksamkeit zu geben und durch Anordnung der Versuche nach dem Serienprinzip (7 u. 13) mit tunlichst langen Serien sich möglichst vollständige Ertragskurven zu verschaffen, damit man die gegenseitige Beeinflussung der Wachstums-

faktoren näher kennen lernt und die Verhältnisse an Hand des in Abb. 8 gegebenen allgemeinen Schemas allseitig übersehen und beurteilen kann.

Schrifttum.

1. Liebscher, G.: Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen. J. Landw., Berlin, **43**, 1895, 46—216.
2. Rippel, A.: Das Ertragsgesetz; in Honcamp, F.: Hdb. Pflanzenernähr. u. Düngerlehre, Berlin 1931, **1**, 602—622.
3. Landeck, S.: Wechselwirkung von Kali und Stickstoff in der Ertragsbildung u. Nahrstoffaufnahme von Wiesenschwingel. Diss. Königsberg, 1937.
4. Mitscherlich, E. A., E. v. Boguslawski u. A. Gutmann: Studien über die Ernährung der Pflanze und die Ertragsbildung bei verschiedener Düngung. Schr. Königsberger Gelehrt. Ges. Königsberg, **12**, 1935, H 2, 33—115.
5 Lange, A.: Untersuchungen über den Wachstumsfaktor Wasser. Landw. Jb., Berlin, **85**, 1938, 465—499.
6. De Vries, O., u. C. W. G. Hetterschij: Der Phosphorsäurehaushalt im Heidesandboden. Berlin, 1936, 1—63.
7. De Vries, O.: Das Serienprinzip in Feldversuchen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **43**, 1936, 83—93.
8. Visser, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst (Kalkzustand und Ernteertrag). Verslagen van Landbouwk. Onderzoekingen, 's-Gravenhage, **44**, 1938, 313—359 (mit engl. Zusammenfass.).
9. Bruin, P.: Samenvatting van eenige resultaten van kalkproefvelden op bouwland (Zusammenfassung von einigen Resultaten von Kalkversuchsfeldern auf Ackerland). Verslagen van Landbouwk. Onderzoekingen, 's-Gravenhage, **42**, 1936, 773—819 (mit deutsch. Zusammenfass.).
10. van der Paauw, F.: Over den samenhang tusschen groeifactoren en de opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen. (Über den Zusammenhang zwischen Wachstumsfaktoren und Ertrag, und die Prinzipien, welche diesen Zusammenhang beherrschen). Landbouwk. Tijdschr., Wageningen, **50**, 1938, 795—830 (mit deutsch. Zusammenfass.).
11. Mooers, C. A.: Planting rates and spacing for corn under Southern conditions. J. Amer. Soc. Agr. Ithaca, **12**, 1920, 1—22.
12. Russell, E. J.: 85 Jahre Düngungsversuche in Rothamsted. Ernähr. d. Pflanze, Berlin, **24**, 1928, 258—267.
13. De Vries, O.: Das Serienprinzip in Feldversuchen II und III. Bodenk. u. Pflanzenernähr., Berlin, **4**, 1937, 291—294; **8**, 1938, 73—77. [295]

Über die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag unter besonderer Berücksichtigung der Berechnung der Konstanten A und c in der logarithmischen Gleichung von Mitscherlich.

Von **E. Rauterberg.**

Arbeiten aus der Landwirtschaftlichen Versuchsstation des Deutschen Kalisyndikats, Berlin-Lichterfelde-Süd.

Eingegangen: 10. März 1939.

Wird der Einfluß eines Wachstumsfaktors auf die Entwicklung der Pflanzen untersucht, so werden die Versuche derart angelegt, daß der fragliche Wachstumsfaktor in unterschiedlicher Größe zur Einwirkung kommt. Alle anderen Wachstumsfaktoren werden

dabei konstant gehalten. Da diese Bedingung eigentlich nur erfüllt ist, wenn man die Pflanzen in Vegetationsgefäßen anzieht, ist der Vegetationsversuch eines der wichtigsten Werkzeuge der Pflanzenernährungslehre. Die Wirkung des Wachstumsfaktors wird in erster Linie durch Bestimmung des Pflanzenertrages festgestellt. Wird der Ertrag in Abhängigkeit von der Größe des Wachstumsfaktors graphisch aufgetragen, so wird eine Kurve erhalten, die anscheinend einem Endwert zustrebt.

Nach Mitscherlich (1, 2) ist der Ertragszuwachs, der durch Vergrößerung eines Wachstumsfaktors bei Konstanz aller anderen Wachstumsfaktoren erzielt wird, proportional der Menge, die noch am Höchstertrag fehlt, welcher überhaupt durch immer weitere Steigerung dieses Wachstumsfaktors erzielt werden kann. Mathematisch ausgedrückt:

$$\frac{dy}{dx} = (A - y)\,c \qquad (I)$$

Durch Integrieren wird die bekannte logarithmische Gleichung erhalten:

$$\lg A - \lg (A - y) = c\,x \qquad (II)$$

In der Gleichung bedeuten:

x die Größe des Wachstumsfaktors, dessen Wirkung untersucht wird,

y der Ertrag, der bei dem Wachstumsfaktor x erzielt wird,

A der Höchstertrag, der bei steigendem x überhaupt erzielt werden kann,

c der Wirkungsfaktor.

Gibt nun die logarithmische Gleichung die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag so genau wieder, daß z. B. der Ertrag bei einer Düngung von 1 g K_2O pro Gefäß berechnet werden kann, wenn die Erträge bei 0,1 g K_2O 11,9 g, bei 0,2 g K_2O 22,2 g und bei 0,5 g K_2O 40,6 g Pflanzensubstanz waren? In der Gleichung II müssen aus den x-Werten (den K_2O-Gaben) und aus den y-Werten (den Erträgen) die Konstanten A und c berechnet werden. Wird dann der y-Wert für x = 1 unter Benutzung der errechneten A- und c-Werte berechnet, so ist der Ertrag bei 1 g K_2O ermittelt. Werden die A- und c-Werte aus verschiedenen Nährstoffgaben und den dazu gehörigen Erträgen berechnet und wird dabei gefunden, daß immer die gleichen Größen erhalten werden, so kann auch für jeden beliebigen Wert von x der Ertrag berechnet werden, denn dadurch, daß immer dieselben A- und c-Werte berechnet sind, ist bewiesen, daß die logarithmische Gleichung die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag wiedergibt. Es dürfen freilich die Unterschiede zwischen den einzelnen Erträgen, aus denen A und c berechnet wurden, nicht zu klein sein, d. h. die Erträge dürfen nicht zu dicht zusammen auf der Ertragskurve liegen.

Die Eigenart der logarithmischen Gleichung erlaubt es nun aber nicht, aus zwei beliebigen Punkten der Kurve die Konstanten A und c der Gleichung II zu berechnen. Mitscherlich bestimmt

daher den Höchstertrag A, indem er die Abhängigkeit des Ertrages vom Wachstumsfaktor graphisch aufträgt und die erhaltene Kurve bis zu einem Endwert verlängert. Wenn der so angenommene Endwert keine Übereinstimmung der c-Werte liefert, wird mit einem anderen Wert für A versucht, ob eine Konstanz von c zu erreichen ist. Rippel (3) weist darauf hin, daß dieses Ausprobieren ein schwacher Punkt der Bestimmung von A und c ist. Eine rein rechnerische Bestimmung von A ist, wie Mitscherlich (4) in seiner Bodenkunde angibt, nur möglich, wenn bei drei Versuchsreihen die Differenz zwischen $x_1 - x_2$ und $x_2 - x_3$ gleich ist. A kann unter diesen Bedingungen aus folgender Formel berechnet werden:

$$A = \frac{y_2^2 - y_1 \cdot y_3}{2y_2 - y_1 - y_3} \qquad \text{(III)}$$

Von dieser Möglichkeit, A rechnerisch zu bestimmen, kann also nur Gebrauch gemacht werden, wenn der Versuch schon gleich so angelegt ist, daß die Differenzen zwischen den x-Werten gleich sind. Da der Einfluß eines jeden Wachstumsfaktors bei relativ niedrigen Gaben größer ist als bei höheren Gaben, müssen eine große Anzahl von Einzelversuchen angesetzt werden, wenn aus allen x- und y-Werten A berechnet werden soll. Es sind wahrscheinlich aus diesem Grunde nur selten Versuche angesetzt, bei denen man mit Hilfe der Formel III A berechnen kann.

Bei meinen Untersuchungen über die mathematische Auswertung von Versuchsergebnissen habe ich nun eine weitere Formel gefunden, mit welcher A rein rechnerisch zu bestimmen ist. Es ist freilich auch für die Anwendung dieser Formel nötig, daß die x-Werte nach bestimmten Gesichtspunkten ausgewählt sind. Die x-Werte müssen nämlich eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden. Bei Düngungsversuchen in Vegetationsgefäßen würden z. B. 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 usw. g pro normales Gefäß zu verabfolgen sein. Die Berechnung von A kann unter diesen Bedingungen nach der folgenden Formel erfolgen:

$$A = \frac{y_1^2}{2\,y_1 - y_2} \qquad \text{(IV)}^{1)}$$

---

[1]) Ableitung der Formel IV

$$x_1 c = \lg A - \lg (A - y_1)$$
$$x_2 c = \lg A - \lg (A - y_2)$$
$$x_2 = 2\,x_1$$
$$2 = \frac{\lg A - \lg (A - y_2)}{\lg A - \lg (A - y_1)}$$
$$2 \lg A - 2 \lg (A - y_1) = \lg A - \lg (A - y_2)$$
$$\lg A = 2 \lg (A - y_1) - \lg (A - y_2)$$
$$A = \frac{(A - y_1)^2}{A - y_2}$$
$$A^2 - A\,y_2 = A^2 - 2\,A\,y_1 + y_1^2$$
$$2\,A\,y_1 - A\,y_2 = y_1^2$$
$$A = \frac{y_1^2}{2\,y_1 - y_2}.$$

c wird durch Einsetzen von A in die logarithmische Gleichung berechnet.

Eine Berechnung von A ist auch noch möglich, wenn x_2 dreimal so groß ist wie x_1, es muß dann mit der Formel V gerechnet werden:

$$A = \pm \sqrt{\left(\frac{3 y_1^2}{2 (3 y_1 - y_2)}\right)^2 - y_1^3 + \frac{3 y_1^2}{2 (3 y_1 - y_2)}} \qquad (V)^{2)}$$

Diese Formel ist aber so umständlich, daß man nur beim Durchrechnen vorliegender Versuche auf sie zurückgreifen wird.

Bei einer großen Anzahl von Vegetationsversuchen wird nun nicht in einem nährstofffreien Medium, wie Quarzsand, gearbeitet, sondern in Boden. Der Boden enthält aber schon etwas von dem Nährstoff, dessen Wirkung geprüft wird. Mitscherlich benennt die im Boden vorhandene Nährstoffmenge, die den Pflanzen zur Verfügung steht, mit b.

Die logarithmische Gleichung, welche die Beziehung zwischen der verabfolgten Nährstoffmenge und dem Ertrag wiedergibt, sieht dann wie folgt aus:

$$c\,x + b\,x = \lg A - \lg (A - y) \qquad (VI)$$

In dieser Gleichung sind also 3 Konstanten vorhanden, zur Berechnung derselben müssen 3 Gleichungen, also 3 Werte für x und y, zur Verfügung stehen. Wenn die x-Werte eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden, ist auch hier eine Berechnung der Konstanten möglich. A wird nach der Formel VII berechnet:

$$A = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{2 y_1 - y_0 - y_2} \qquad (VII)^{3)}$$

y_0 ist der Ertrag bei $x = 0$.

Wenn A bestimmt ist, kann die Berechnung von b nach der Formel VIII erfolgen:

---

2) Ableitung der Formel V

$$x_1 c = \lg A - \lg (A - y_1)$$
$$x_2 c = \lg A - \lg (A - y_2)$$
$$x_2 = 3\, x_1$$
$$3 = \frac{\lg A - \lg (A - y_2)}{\lg A - \lg (A - y_1)}$$
$$3 \lg A - 3 \lg (A - y_1) = \lg A - \lg (A - y_2)$$
$$2 \lg A = 3 \lg (A - y_1) - \lg (A - y_2)$$
$$A^2 = \frac{(A - y_1)^3}{(A - y_2)}$$
$$A^3 - A^2 y_2 = A^3 - 3 A^2 y_1 + 3 A y_1^2 - y_1^3$$
$$3 A^2 y_1 - A^2 y_2 - 3 A y_1^2 + y_1^3 = 0$$
$$(3 y_1 - y_2) A^2 - 3 y_1^2 A + y_1^3 = 0$$
$$A = \pm \sqrt{\left(\frac{3 y_1^2}{2 (3 y_1 - y_2)}\right)^2 - y_1^3 + \frac{3 y_1^2}{2 (3 y_1 - y_2)}}$$

3) Ableitung der Formel VII

$$x_1 c + b\,c = \lg A - \lg (A - y_1)$$
$$b\,c = \lg A - \lg (A - y_0)$$
$$x_1 c = \lg (A - y_0) - \lg (A - y_1)$$

Tabelle 1. Höchsterträge A berechnet nach der logarithmischen Gleichung,

	Vers. 20, S. 353 Vers. 59, S. 366			Vers. 21, S. 353 Vers. 61, S. 367			Vers. 23, S. 355 Vers. 62, S. 367		
	y gef.	y ber.	y ber.		y ber.	y ber.		y	ber.
$x_0 = 0$	6,4 ± 0,2	6,6	6,4	11,0 ± 0,9	11,0	11,0	11,0 ± 0,9	11,0	11,0
$x_1 = 0,114$	14,6 ± 0,3	14,4	14,2	25,6 ± 0,3	24,0	24,2	22,6 ± 0,8	21,8	21,9
$x_2 = 0,229$	22,6 ± 1,5	21,0	20,7	36,6 ± 1,2	35,0	35,0	34,0 ± 0,8	31,1	31,1
$x_3 = 0,458$	29,7 ± 1,4	30,9	30,6	53,1 ± 1,8	51,5	51,6	52,8 ± 1,2	46,2	46,2
$x_4 = 0,916$	41,3 ± 0,4	42,5	42,3	70,5 ± 0,3	70,9	71,1	70,5 ± 0,9	65,3	65,5
$x_5 = 1,832$	50,8 ± 0,8	50,7	50,5	77,5 ± 1,4	84,6	84,9	90,2 ± 0,9	81,6	81,9
$x_6 = 3,664$	55,7 ± 1,1	52,9	52,9	88,5 ± 1,8	88,4	88,8	88,4 ± 0,8	88,1	88,4
A n. Mitscherlich		53,1	53,0		88,6	89,0		88,6	89,0
A aus $y_0y_1y_2$	340			70,4			684		
$y_0y_2y_3$	35,3			83,1			136,9		
$y_0y_3y_4$	52,8			82,9			83,5		
$y_0y_4y_5$	54,4			78,5			100,0		
$y_0y_5y_6$	56,4			90,7					
$y_0y_1y_2$	670			114,7			1345		
$y_0y_2y_3$	47,9			127,9			239		
$y_0y_3y_4$	75,8			112,2			114		
$y_0y_4y_5$	67,3			86,4			129,6		
$y_0y_5y_6$	61,9			103,9					

$$b = \frac{x_1 [\lg A - 2 \lg (A - y_1) + \lg (A - y_2)]}{\lg (A - y_1) - \lg (A - y_2)} \qquad (VIII)^{4)}$$

c wird schließlich nach der Formel VI berechnet.

An Ergebnissen von Vegetationsversuchen, bei denen die x-Werte eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden, soll nun untersucht werden, ob eine rechnerische Bestimmung der Kon-

$$x_2 c = \lg (A - y_0) - \lg (A - y_2)$$
$$x_2 = 2 x_1$$
$$2 = \frac{\lg (A - y_0) - \lg (A - y_2)}{\lg (A - y_0) - \lg (A - y_1)}$$
$$2 \lg (A - y_0) - 2 \lg (A - y_1) = \lg (A - y_0) - \lg (A - y_2)$$
$$\lg (A - y_0) = 2 \lg (A - y_1) - \lg (A - y_2)$$
$$A - y_0 = \frac{(A - y_1)^2}{A - y_2}$$
$$A^2 - A y_0 - A y_2 + y_0 y_2 = A^2 - 2 A y_1 + y_1^2$$
$$2 A y_1 - A y_2 - A y_0 = y_1^2 - y_0 y_2$$
$$A = \frac{y_1^2 - y_0 y_2}{2 y_1 - y_0 - y_2}$$

4) Ableitung der Formel VIII

$$c (x_1 + b) = \lg A - \lg (A - y_1)$$
$$c (x_2 + b) = \lg A - \lg (A - y_2)$$
$$x_2 = 2 x_1$$
$$\frac{x_1 + b}{2 x_1 + b} = \frac{\lg A - \lg (A - y_1)}{\lg A - \lg (A - y_2)}$$
$$x_1 \lg A - x_1 \lg (A - y_2) + b \lg A - b \lg (A - y_2) =$$
$$2 x_1 \lg A - 2 x_1 \lg (A - y_1) + b \lg A - b \lg (A - y_1)$$
$$b \lg (A - y_1) - b \lg (A - y_2) = x_1 \lg A - 2 x_1 (A - y_1) + x_1 \lg (A - y_2)$$
$$b = \frac{x_1 [\lg A - 2 \lg (A - y_1) + \lg (A - y_2)]}{\lg (A - y_1) - \lg (A - y_2)}$$

E berechnet nach der Hyperbel. Versuch von Mitscherlich (5).

Vers. 22, S. 355		Vers. 131, S. 390		Vers. 132, S. 390		Vers. 83, S. 372	
	y ber.		y ber.		y ber.		y ber.
6,4 ± 0,2	6,6	6,4 ± 0,2	6,4	11,0 ± 0,9	11,0	4,7 ± 0,3	4,7
11,5 ± 0,4	13,1	22,5 ± 0,5	18,7	48,5 ± 3,2	46,9	11,8 ± 0,5	11,6
20,2 ± 0,4	18,7	25,9 ± 0,9	26,2	60,5 ± 5,3	62,6	19,2 ± 0,9	17,4
29,4 ± 1,0	27,6	32,7 ± 1,3	33,6	70,2 ± 0,5	72,6	35,4 ± 1,4	26,2
38,6 ± 0,5	39,1	37,3 ± 1,3	37,4	67,0 ± 2,3	75,0	35,8 ± 1,1	36,5
47,7 ± 0,3	49,0	41,2 ± 0,9	38,0	75,0 ± 2,7	75,0	39,5 ± 3,4	43,8
43,4 ± 0,2	52,8	37,9 ± 1,6	38,0	79,8 ± 0,4	75,0	46,0 ± 1,0	45,9
	53,1		38,0		75,0		46
—		26,8		66,2		—	
47,9		36,3		—		—	
44,7		38,3		—		35,8	
51,3		42,9		76,5		40,0	
				80,3		47,5	
—		31,1		85,6		—	
75,7		46,7		—		—	
59,9		43,9		85,5		36,2	
63,9		46,2		84,4		44,1	
						55,6	

stanten A und c resp. A, c und b immer die gleichen Werte für diese Größen liefert.

In einer Arbeit „Pflanzenphysiologische Vorarbeiten zur chemischen Bodenanalyse" berichtet Mitscherlich (5) unter anderem über Vegetationsversuche, bei denen die Nährstoffmengen 0; 0,114; 0,229; 0,458; 0,916; 1,832 und 3,664 g pro Gefäß gegeben waren. Aus den Erträgen sind nach der Formel VII die Höchsterträge A berechnet. In der Tabelle 1 sind die Erträge bei den verschiedenen Düngungen unddie von Mitscherlich berechneten Erträge aufgeführt. Da bei einigen Versuchsreihen die berechneten Erträge in 2 verschiedenen Tabellen mit etwas unterschiedlichen Höchsterträgen angegeben sind, wurden dieselben auch in der Tabelle 1 aufgenommen. Die nach der Formel VII berechneten Höchsterträge sind unter A aus $y_0\ y_1\ y_2$, A aus $y_0\ y_2\ y_3$ usw. angegeben. Die aus den verschiedenen y-Werten berechneten A-Werte sind zum Teil sehr verschieden. Eine gewisse Gesetzmäßigkeit ist aber doch feststellbar. Die A-Werte steigen bei den meisten Versuchsreihen mit den y-Werten, aus denen sie berechnet sind. Die aus kleinen y-Werten berechneten A-Werte sind häufig sogar niedriger als die bei höheren Nährstoffgaben erzielten y-Werte. (Die unter E aus $y_0\ y_1\ y_2$ aufgeführten Zahlen werden später besprochen.)

Obgleich die Übereinstimmung zwischen den von Mitscherlich berechneten und den experimental ermittelten y-Werten zum Teil gut ist, kann die Große A doch nicht, wie die Versuchsergebnisse zeigen, aus allen y-Werten berechnet werden. Ob dieses nun daran liegt, daß der mittlere Fehler der Versuchsergebnisse zu groß ist oder ob eine andere Formel die Beziehung zwischen

Wachstumsfaktor und Ertrag besser wiedergibt als die logarithmische Gleichung, soll an weiteren Versuchsergebnissen näher untersucht werden.

Die logarithmische Gleichung sagt aus, daß durch einen bestimmten Wert von x, der als „Halbwertsgröße" h bezeichnet wird, die Hälfte vom Höchstwert, also 1/2 A erzielt wird, und daß durch 2 h 3/4 A, durch 3 h 7/8 A, durch 4 h 15/16 A erreicht werden, also ganz allgemein durch n h werden $\frac{2^n-1}{2^n}A$ erreicht. Aus den Beziehungen: $x = n\,h$ u. $y = \frac{2^n-1}{2^n}A$ [5]) wird die logarithmische Gleichung von Mitscherlich erhalten, wenn $h = \frac{\lg 2}{c}$ gesetzt wird.

Es gibt nun noch weitere Gesetzmäßigkeiten beim Zustreben gegen einen Endwert, welche durch einfache Formeln wiedergegeben werden. Es kann z. B. angenommen werden, daß durch 2 Halbwertsgrößen, also 2 h $^2/_3$ vom Endwert E erzielt werden, durch 3 h $^3/_4$ E usw., ganz allgemein durch n h werden $\frac{n}{n+1}E$ erreicht. Aus den Beziehungen $x = n\,h$ und $y = \frac{n}{n+1}E$ kann die Formel entwickelt werden, welche die Beziehung zwischen x und y wiedergibt. Es ist:

$$y = \frac{x\,E}{x+h}. \tag{IX}$$

Dieses ist die Gleichung einer Hyperbel, die durch den 0-Punkt des Koordinatenkreuzes geht und deren Hauptachse um 90° gedreht

---

[5]) $x = n\,h \qquad y = \frac{2^n-1}{2^n}A$

$$n = \frac{x}{h}$$

$$y = \frac{2^{\frac{x}{h}}-1}{2^{\frac{x}{h}}}A$$

$$y = A - \frac{1}{2^{\frac{x}{h}}}A$$

$$A - y = \frac{1}{2^{\frac{x}{h}}}A$$

$$2^{\frac{x}{h}} = \frac{A}{A-y}$$

$$\frac{x}{h}\lg 2 = \lg A - \lg(A-y)$$

$$\frac{\log 2}{h} = c$$

$$x\,c = \lg A - \lg(A-y)$$

ist. Dieselbe Gleichung wird auch von Vageler und Alten (6) benutzt, um den S-Wert des Bodens aus 2 Ausschüttelungen mit Ammoniumchlorid zu berechnen. Es sind nur die Konstanten anders zu benennen, und zwar E = s und H = qS.

$$y = \frac{x\,S}{x + q\,S}.$$

Die Bedeutung der Konstanten E und h in der Hyperbelgleichung geht aus der Ableitung der Gleichung aus der allgemeinen Hyperbelgleichung hervor.

Die allgemeine Formel der Hyperbel

$$(x + a)\ (y + b) = c$$

gibt eine gleichseitige Hyperbel wieder, deren Asymptoten parallel zu den Achsen des Koordinatenkreuzes verschoben sind, und zwar auf der x-Achse um minus a Einheiten und auf der y-Achse um minus b Einheiten. Die Konstante c sagt etwas aus über die Länge der Hauptachse, es ist die halbe Hauptachse gleich $c\sqrt{2}$. Wird in der Gleichung $c = a \cdot b$

$$(x + a)\ (y + b) = a\,b,$$

so wird für x = 0 auch y = 0, d. h. der eine Ast der Hyperbel geht durch den 0-Punkt des Koordinatenkreuzes. Die allgemeine Formel der Hyperbel gibt eine Beziehung wieder, bei der mit steigendem x die Größe y immer kleiner wird, bis sie einen Endwert erreicht hat.

Wird in der allgemeinen Hyperbelgleichung für die Konstante b der Wert — b

$$(x + a)\ (x - b) = c,$$

so wird eine Gleichung erhalten, die eine Hyperbel darstellt, deren Achsenkreuz um 90° gedreht ist. Die Werte von y werden hier bei steigendem x größer. Wird in dieser Gleichung für die Konstante c das Produkt der beiden anderen Konstanten eingesetzt, also

$$c = a \cdot (-b) = -a\,b$$
$$(x + a)\ (y - b) = -a\,b,$$

so wird die oben aufgeführte Hyperbelgleichung erhalten, wie folgende Entwicklung zeigt:

$$x\,y - b\,x + a\,y - a\,b = -a\,b$$
$$y\,(x + a) = b\,x$$
$$y = \frac{b\,x}{x + a}$$

Für b ist oben E gesetzt, b bedeutet aber in der Hyperbel die negative Verschiebung der Asymptoten auf der y-Achse, also den Endwert von y, der mit steigendem x erreicht wird. Für a ist oben h gesetzt, a ist die negative Verschiebung der Asymptote auf der x-Achse. Andererseits ist wie oben erläutert, h der Wert von x, mit dem die Hälfte vom Endwert erzielt wird.

Die Hyperbel hat vor der logarithmischen Kurve den großen Vorteil, daß mit der Formel sehr viel einfacher zu rechnen ist. Aus einer beliebigen Anzahl von Versuchen und bei beliebigen Werten für x kann ein Mittelwert für den Höchstertrag oder Endwert E[6]) und für die Halbwertsgröße h berechnet werden, wenn die Vegetationsversuche in reinem Quarzsand durchgeführt sind.

Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt. Die Gleichung

$$y = \frac{x\,E}{x + h}$$

wird einmal nach E und das andere Mal nach h aufgelöst

[6]) Um eine Verwechslung zu vermeiden, wird der Höchstertrag bei der Hyperbel mit Endwert bezeichnet und mit E benannt.

$$E = y + \frac{y}{x} h$$

$$h = \frac{x}{y} E - x$$

Liegen die Erträge von verschiedenen Düngungen vor, so stehen n Gleichungen für E und n Gleichungen für h zur Verfügung.

Durch Addition der einzelnen Gleichungen für E und für h werden folgende Gleichungen erhalten:

$$n E = \Sigma y + \Sigma \frac{x}{y} h \qquad \text{(X)}$$

$$n h = \Sigma \frac{x}{y} E - \Sigma x \qquad \text{(XI)}$$

In einer Versuchsreihe waren für die in Tabelle 2 aufgeführten Werte von x (g K_2O pro Gefäß) die daneben angegebenen Werte für y (g Trockensubstanz je Gefäß) erhalten worden.

Tabelle 2.

x_1	0,1	y_1	11,9	y/x_1	119	x/y_1	0,00841
x_2	0,2	y_2	22,2	y/x_2	111	x/y_2	0,00902
x_3	0,5	y_3	40,6	y/x_3	81,2	x/y_3	0,01231
x_4	1	y_4	50,4	y/x_4	50,4	x/y_4	0,01984
x_5	2	y_5	59,9	y/x_5	30,0	x/y_5	0,03340
x_6	3	y_6	63,6	y/x_6	21,2	x/y_6	0,04720
Σx	6,8	Σy	248,6	$\Sigma y/x$	412,8	$\Sigma x/y$	0,13018

Es sind die Werte für y/x und x/y, und dann sind die Summen für x, y, y/x und x/y ermittelt. Die so errechneten Zahlen werden in die Gleichungen X und XI eingesetzt, dabei ist n = 6, da 6 verschiedene Gleichungen addiert sind.

$$6 E = 249 + 413 h$$
$$6 h = 0{,}1302 E - 6{,}8$$
$$h = 0{,}0217 E - 1{,}133$$
$$6 E = 249 + 413 \cdot 0{,}0217 E - 413 \cdot 1{,}133$$
$$6 E = 8{,}97 E = 249 - 468$$
$$2{,}97 E = 219$$
$$\underline{E = 73{,}8}$$
$$h = 0{,}0217 \cdot 73{,}8 - 1{,}133$$
$$h = 1{,}600 - 1{,}133$$
$$\underline{h = 0{,}47}$$

Aus den berechneten E- und h-Werten sind durch Einsetzen der verschiedenen Werte von x in die Gleichung

$$y = \frac{x E}{x + h}$$

die Erträge y berechnet

$$y_1 = \frac{0{,}1 \cdot 73{,}8}{0{,}1 + 0{,}47} = 12{,}9$$

In der Tabelle 3 sind die berechneten und die gefundenen y-Werte bei den verschiedenen Größen für x eingetragen.

Tabelle 3.

x	y gefunden	y berechnet
0,1	11,9	12,9
0,2	22,2	22,0
0,5	40,6	38,1
1	50,4	50,2
2	59,9	59,8
3	63,6	63,8

Die berechneten und die gefundenen Erträge stimmen so gut überein, daß bei diesem Versuch der Ertrag eine Funktion der Kalimenge ist, welche durch die Hyperbelgleichung wiedergegeben wird. Die berechneten Werte für E und h sagen aus, daß bei höheren Gaben von Kali unter den vorhandenen Bedingungen im Höchstfall 73,8 g geerntet werden und daß durch 0,47 g K_2O $73{,}8/2 = 36{,}9$ g Trockensubstanz produziert wird.

In der Tabelle 4 sind Erträge des gleichen Düngungsversuches aufgeführt, die Pflanzen waren nur etwa 10 Tage später geerntet. Es sind Endertrag und Halbwertsgröße berechnet und daraus die berechneten Erträge, die in der Tabelle 4 mit aufgeführt sind. Die Zahlen zeigen eine gute Übereinstimmung der berechneten und gefundenen Erträge bei 0,1; 0,2; 2 und 3 g K_2O. Bei 0,5 und 1 g K_2O ist die Übereinstimmung dagegen schlecht.

Tabelle 4.

g K_2O je Gefäß x	y gefunden	y berechnet
	(g Trockensubstanz)	
0,1	16,7	16,7
0,2	28,5	28,6
0,5	47,9	50,6
1	72,7	68,9
2	82,6	82,1
3	87,6	88,3
E		103,8
h		0,53

Da die Differenzen zwischen x_1 und x_5 und zwischen x_5 und x_6 gleich sind, kann der Höchstertrag A nach der logarithmischen Gleichung berechnet werden. Die Berechnung von A nach Formel III ergibt $A = 92{,}5$. Wird jetzt c für $x = 1$, $x = 2$ und $x = 3$ berechnet, so werden 3 verschiedene c-Werte erhalten:

$$c = 0{,}67 \text{ aus } x = 1$$
$$c = 0{,}49 \text{ aus } x = 2$$
$$c = 0{,}43 \text{ aus } x = 3$$

In der Tabelle 5 sind die nach der logarithmischen Gleichung

für A = 92,5 und den beiden c-Werten 0,67 und 0,43 berechneten Erträge y aufgeführt. Bei beiden c-Werten ist die Übereinstimmung zwischen den berechneten und gefundenen Erträgen schlecht.

Tabelle 5.

x	y gefunden	y berechnet für	
		c = 0,67	c = 0,43
0,1	16,7	13,2	8,7
0,2	28,5	24,5	16,7
0,5	47,9	49,8	26,2
1	72,7	72,7	58,1
2	82,6	88,3	79,7
3	87,6	91,4	87,8

Tabelle 6.

x	y gefunden	y berechnet aus	
		c = 0,63	c = 0,50
0,1	11,9	8,8	7,1
0,2	22,2	16,5	13,5
0,5	40,6	33,9	28,8
1	50,4	50,3	44,9
2	59,9	62,1	59,1
3	63,6	64,9	63,6

Schon die relativ weit auseinander liegenden c-Werte, die erhalten wurden, deuten darauf hin, daß die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag nicht durch die logarithmische Gleichung wiedergegeben wird.

Wenn auch, wie oben ausgeführt, die nach der Hyperbel berechneten Erträge nur in einigen Fällen gut mit den gefundenen Erträgen übereinstimmen, so gibt doch die Hyperbel die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag besser wieder, als die logarithmische Gleichung, wenn mit mathematisch errechneten Konstanten der beiden Gleichungen gearbeitet wird. Es ist vielleicht möglich, durch Ausprobieren A- und c-Werte zu finden, bei denen eine bessere Übereinstimmung zwischen den berechneten und gefundenen Erträgen festgestellt wird.

Werden die in der Tabelle 3 aufgeführten Erträge daraufhin untersucht, wie weit hier eine Übereinstimmung zwischen den gefundenen und den nach der logarithmischen Gleichung errechneten Erträgen vorhanden ist, so muß auch wieder der Höchstertrag A nach der Gleichung III berechnet werden. A ist hier 65,7. Die Berechnung von c aus x = 1, x = 2 und x = 3 und den entsprechenden Erträgen ergibt auch hier 3 verschiedene Größen

c = 0,63 aus x = 1
c = 0,53 aus x = 2
c = 0,50 aus x = 3

Die aus $x = 1$ und $x = 3$ berechneten Werte für c liegen wieder relativ weit auseinander. In der Tabelle 6 sind die aus diesen c-Werten und dem A-Wert 65,7 berechneten y-Werte aufgeführt. Die Zahlen zeigen auch hier in beiden Reihen eine schlechte Übereinstimmung zwischen berechneten und gefundenen Erträgen.

In der Tabelle 1 sind die aus verschiedenen y-Werten berechneten Höchsterträge aufgeführt. Wie oben schon hervorgehoben, sind z. T. sehr große Differenzen zwischen den verschiedenen Höchsterträgen, welche berechnet wurden, vorhanden, obgleich andererseits die von Mitscherlich berechneten Erträge z. T. nur wenig von den gefundenen abweichen. Um nun festzustellen, ob die Hyperbel die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag bei den Versuchen aus Tabelle 1 besser wiedergibt, sind ähnlich wie bei der logarithmischen Gleichung Höchsterträge nach der Hyperbel berechnet. Und zwar kann auch bei der Hyperbel ein Höchstertrag berechnet werden, wenn die x-Werte eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden. Eine Berechnung von E nach den Gleichungen X und XI ist nicht möglich, da der Boden auch von den Nährstoffen enthält, es ist also ein „b" vorhanden.

In der Hyperbel $y = \frac{(x + b) E}{x + b + h}$ (XII)

ist E unter diesen Bedingungen:

$$E = \frac{y_1 (y_0 + y_2) - 2\, y_0 y_2}{2\, y_1 - (y_0 + y_2)} \text{ [7]} \qquad \text{(XIII)}$$

Für die Erträge, die in der Tabelle 1 aufgeführt sind, wurden die Höchsterträge nach der Gleichung XIII berechnet, dieselben sind in der Tabelle 1 unter E aus $y_0\, y_1\, y_2$ usw. aufgeführt. Die aus der Hyperbel berechneten Höchsterträge sind größer als die mit der logarithmischen Gleichung berechneten. Hier zeigt sich, daß durch 6 Halbwertsgrößen oder Nährstoffeinheiten bei der logarithmischen Gleichung 98,5% vom Höchstertrag erzielt wird und daß 63 Halbwertsgrößen nötig sind, um bei der Hyperbel 98,5% vom Höchstertrag zu erzielen. Bei einigen Versuchen ist die Übereinstimmung der berechneten E-Werte (Höchsterträge aus der Hyperbelgleichung berechnet) untereinander besser als die Über-

---

[7]) Ableitung der Gleichung

$$y = \frac{(x + b) E}{x + b + h}$$
$$(x + b)(E - y) = y\, h$$
$$x_1 E - x_1 y_1 + b E - b y_1 = y_1 h$$
$$b E - b y_0 = y_0 h$$
$$x_1 E - x_1 y_1 - b y_1 + b y_0 = y_1 h - y_0 h$$
$$x_1 (E - y_1) - b (y_1 - y_0) = h (y_1 - y_0)$$
$$x_1 (E - y_1) = (h + b)(y_1 - y_0)$$
$$2 x_1 (E - y_2) = (h + b)(y_2 - y_0)$$
$$\frac{2 (E - y_2)}{E - y_1} = \frac{y_2 - y_0}{y_1 - y_0}$$
$$E = \frac{y_1 (y_0 + y_2) - 2\, y_0 y_2}{2\, y_1 - (y_0 + y_2)}$$

einstimmung der A-Werte untereinander (Höchsterträge aus der logarithmischen Gleichung berechnet), bei anderen Versuchen ist es umgekehrt. In den Tabellen 7, 8 und 9 sind die Erträge von einem Nährstoffverteilungsversuch des Verfassers (7) aufgeführt, bei dem Versuch waren je Gefäß 0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8 und 1,6 g K_2O resp. P_2O_5 gegeben. Die A- und E-Werte sind nach den Gleichungen VII und XIII berechnet. Die Übereinstimmung der berechneten Höchsterträge in den einzelnen Versuchsreihen ist im allgemeinen bei den A-Werten besser als bei den E-Werten. Bei

Tabelle 7.

Höchsterträge: A berechnet nach der logarithmischen Gleichung, E nach der Hyperbel. Erträge aus einem Kaliverteilungsversuch, Boden-„Teilstück“ 23 (7) 1—3: gedüngt mit KCl, 4—6: gedüngt mit K_2CO_3; 1 und 4: absolut gleichmäßig verteilt, 2 und 5: K_2O als Lösung beim Ansetzen mit der Pipette zugegeben, 3 und 6: K_2O als Salz beim Ansetzen zugegeben.

x	1	2	3	4	5	6
0	29,2	31,5	31,5	29,2	31,5	31,5
0,1	37,0	59,6	47,5	44,7	51,5	60,6
0,2	67,0	78,4	65,7	64,1	69,1	74,9
0,4	86,4	83,8	85,6	85,8	89,1	89,6
0,8	98,1	95,3	98,7	99,7	98,1	99,2
1,6	103,0	106,6	106,0	102,9	104,3	102,5
A aus $y_0y_1y_2$	264	117	—	—	186	89
$y_0y_2y_3$	105	85	114	122	112	97
$y_0y_3y_4$	101	99	103	104	100	101
$y_0y_4y_5$	103	109	107	103	105	103
E aus $y_0y_1y_2$	158	174	—	—	343	118
$y_0y_2y_3$	147	91	162	179	154	119
$y_0y_3y_4$	116	113	120	122	110	113
$y_0y_4y_5$	109	123	115	107	111	106

Tabelle 8.

Höchsterträge berechnet nach der logarithmischen Gleichung A und nach der Hyperbel E. Erträge aus einem Kaliverteilungsversuch, Boden „Königshagen“ (7). 1—3: gedüngt mit KCl, 4—6: gedüngt mit K_2CO_3; 1 und 4: K_2O absolut gleichmäßig verteilt, 2 und 5: K_2O als Lösung beim Ansetzen mit der Pipette zugegeben, 3 und 6: K_2O beim Ansetzen als Salz zugegeben.

			1	2	3	4	5	6
x_0		y_0	31,7	48,1	48,1	31,7	48,1	48,1
x_1	0,1	y_1	42,7	61,7	63,8	40,3	64,3	64,0
x_2	0,2	y_2	50,6	74,1	76,4	46,2	75,4	72,1
x_3	0,4	y_3	64,0	89,9	89,4	61,2	87,3	90,2
x_4	0,8	y_4	82,2	97,2	97,4	88,8	101,2	98,5
x_5	1,6	y_5	96,0	104,6	107,6	100,4	103,6	103,8
A aus	$y_0y_1y_2$		71	206	129	230	101	80
	$y_0y_2y_3$		97	105	100	—	97	145
	$y_0y_3y_4$		106	99	100	494	109	100
	$y_0y_4y_5$		101	108	110	103	104	104
E aus	$y_0y_1y_2$		100	358	197	306	139	98
	$y_0y_2y_3$		142	135	108	—	118	219
	$y_0y_3y_4$		148	108	109	927	130	110
	$y_0y_4y_5$		120	118	122	119	107	109

Tabelle 9.

Höchsterträge A berechnet nach der logarithmischen Gleichung, E berechnet nach der Hyperbel, Erträge aus einem Phosphorsäureverteilungsversuch (7). (1. P_2O_5 absolut gleichmäßig verteilt, 2. P_2O_5 als Lösung mit der Pipette zugegeben, 3. P_2O_5 als Salz zugegeben).

			1	2	3
x_0	0	y_0	20,1	21,6	21,6
x_1	0,1	y_1	36,1	50,7	48,3
x_2	0,2	y_2	52,9	73,1	70,6
x_3	0,4	y_3	79,7	87,4	86,9
x_4	0,8	y_4	86,2	91,3	95,9
x_5	1,6	y_5	97,9	85,9	95,6
A aus $y_0y_1y_2$			—	148	183,4
$y_0y_2y_3$			199	92,9	95,2
$y_0y_3y_4$			87	91,7	97,4
$y_0y_4y_5$			100		
E aus $y_0y_1y_2$			—	246	318
$y_0y_2y_3$			526	113	119,4
$y_0y_3y_4$			95	95,7	107,7
$y_0y_4y_5$			115		

Tabelle 10.

Höchsterträge A berechnet nach der logarithmischen Gleichung, E berechnet nach der Hyperbel, Versuch von Rippel (8) (steigende K_2SO_4-Salze, y-Mittelwerte aus 10 Parallelen), „y berechnet" von Mitscherlich (9). Schr'ften der Königsberger Gelehrtengesellschaft, 5. Jahrg., H. 2, 1928.

x_0	0	y_0	8,94±0,26	8,95	9,29	x_0	0	y_0	8,42±0,08	8,42	8,67
x_1	0,1	y_1	19,86±0,60	20,20	20,58	x_1	0,05	y_1	8,90±0,15	8,91	9,04
x_2	0,2	y_2	30,80+0,61	29,10	29,41	x_2	0,1	y_2	9,51±0,09	9,30	9,31
x_3	0,4	y_3	43,05±0,33	41,69	41,69	x_3	0,15	y_3	9,56±0,12	9,62	9,56
x_4	0,8	y_4	53,96±0,28	54,49	53,80	x_4	0,2	y_4	9,85+0,08	9,87	9,77
x_5	1,2	y_5	58,16±0,85	59,49	58,31	x_5	0,4	y_5	10,30+0,13	10,47	10,40
x_6	2,4	y_6	62,70±0,64	62,68	60,86	x_6	0,6	y_6	10,72±0,09	10,72	10,79
						x_7	0,8	y_7	10,90±0,09	10,83	11,03
										10,90	11,4
A n. Mitscherlich				62,70	61,0						
A aus $y_0y_1y_2$			—			A aus $y_0y_1y_2$			—		
$y_0y_2y_3$			58,7			$y_0y_2y_4$			10,0		
$y_0y_3y_4$			59,2			$y_0y_4y_5$			10,5		
$y_0y_5y_6$			63,2			$y_0y_5y_7$			11,0		
E aus $y_0y_1y_2$			—			E aus $y_0y_1y_2$			—		
$y_0y_2y_3$			86,5			$y_0y_2y_4$			10,4		
$y_0y_3y_4$			75,3			$y_0y_4y_5$			11,1		
$y_0y_5y_6$			68,2			$y_0y_5y_7$			11,9		

den E-Werten fällt auf, daß die aus niedrigen y-Werten errechneten E-Werte häufig höher liegen, als die aus den höheren y-Werten berechneten E-Werte. Auch die aus den Erträgen eines Vegetationsversuches von Rippel (8) (Tab. 10) berechneten A-Werte stimmen unter sich besser überein, als die berechneten E-Werte. Die Zahlen in den Tabellen 7, 8, 9 und 10 zeigen also, daß die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag besser durch die logarithmische Gleichung wiedergegeben ist als durch die Gleichung der Hyperbel. Die berechneten A-Werte streuen aber z. T.

sehr stark, und zwar ganz besonders bei der Berechnung aus niedrigen Erträgen.

Handelt es sich nun bei der in den Tabellen 3 und 4 gezeigten guten Übereinstimmung zwischen gefundenen und nach der Hyperbel berechneten Erträgen um Zufallsergebnisse, oder ist die Möglichkeit vorhanden, daß die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag sowohl durch die Hyperbel als auch durch die logarithmische Gleichung wiedergegeben werden kann? In den Tabellen 11 und 12 sind die Erträge als Funktion vom Wassergehalt des Bodens aufgeführt, und zwar handelt es sich um Versuche von Mitscherlich (1), für die vom Versuchsansteller auch die Erträge aus den Konstanten A und c berechnet wurden. In den Tabellen sind außer diesen Zahlen die nach der Hyperbel berechneten Erträge aufgeführt. Ein Vergleich der gefundenen und der berechneten Erträge zeigt, daß sowohl die von Mitscherlich berechneten Erträge als auch die vom Verfasser berechneten Erträge z. T. gut mit den gefundenen Erträgen übereinstimmen.

Tabelle 11.

Erträge als Funktion vom Wassergehalt des Bodens.
Sandboden.

H_2O-Gabe	Wickenerträge			Hafererträge		
	gefunden	berechnet		gefunden	berechnet	
		nach Mitscherlich	Hyperbel		nach Mitscherlich	Hyperbel
466	15,2 ± 1,2	14,9	15,6	54,1 ± 1,7	55,2	61,5
699	19,9 ± 1,4	19,7	20,0	85,5 ± 3,0	73,5	77,0
1059	25,6 ± 2,7	24,9	24,9	92,6 + 3,6	92,5	93,0
1631	30,2 ± 2,9	29,9	29,8	106,7 + 3,0	106,7	108,5
2330	32,6 ± 2,3	32,8	33,5	121,8 ± 2,1	121,8	119,2
E		35,0	47		130	156
c resp. h		0,000515	943		0,000515	715

Tabelle 12.

Erträge als Funktion vom Wassergehalt des Bodens.
Gartenboden.

H_2O-Gabe ccm	Wickenerträge			Hafererträge		
	gefunden	berechnet		gefunden	berechnet	
		nach Mitscherlich	Hyperbel		nach Mitscherlich	Hyperbel
683	38,6 ± 2,4	38,5	38,9	37,0 ± 1,6	39,3	38,2
1025	49,5 ± 2,5	48,7	48,4	50,5 + 2,1	49,5	48,2
1537	57,1 ± 1,4	58,0	55,2	58,3 ± 2,7	58,5	58,2
2391	64,5 ± 3,5	65,0	66,5	65,0 ± 0,7	65,4	68,5
3415	74,5 ± 2,6	67,8	72,7	77,8 ± 3,3	68,0	75,5
E		69	92,9		70	100
c resp. h		0,000515	94,5		0,000515	1105

Diese relativ gute Übereinstimmung zwischen den nach der logarithmischen Gleichung und nach der Hyperbelgleichung be-

rechneten Werten macht es erfoderlich, die beiden Gleichungen miteinander zu vergleichen. Aus y-Werten, die von einer logarithmischen Kurve stammen und aus den dazugehörigen x-Werten sind E- und h-Werte berechnet worden und aus diesen dann die y-Werte für die erhaltenen E- und h-Werte. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 13 eingetragen. Die Zahlen zeigen, daß aus der Hyperbelgleichung höhere Endwerte errechnet werden, als die logarithmische Gleichung angibt, dadurch sind auch die Halbwertsgrößen größer.

Tabelle 13.

Vergleich der logarithmischen Gleichung mit der Hyperbelgleichung.

x	log. Gleichung	Hyp. Gleichung ber.	x	log. Gleichung	Hyp. Gleichung ber.	x	log. Gleichung	y Hyp. berechn.	x	log. Gleichung	y Hyp. berechn.
1	6,71	6,8	1	6,71	6,8	2	12,98	13,5	5	29,3	30,7
2	12,98	13,0	2	12,98	13,0	5	29,3	29,5	10	50,0	49,8
4	24,25	24,1	5	29,3	28,9	10	50,0	48,8	20	75,0	72,3
8	42,60	41,9	10	50,0	48,5	20	75,0	72,7	30	87,5	85,1
16	67,00	66,5	20	75,0	73,6	30	87,5	86,8	40	93,75	93,3
E	100	161	30	87,5	88,9	40	93,75	96,2	50	96,88	99,0
h	10	22,7	E	100	152	E	100	142	E	100	131,5
			h	10	21,3	h	10	19,1	h	10	16,4

Je weiter unten auf der logarithmischen Kurve die Werte liegen, aus denen nach der Hyperbelgleichung E und h berechnet sind, desto geringer ist der Unterschied zwischen den y-Werten der logarithmischen Gleichung und den berechneten Werten der Hyperbelgleichung, desto höher sind aber auch die E- und h-Werte. Aus einem Teilabschnitt der logarithmischen Kurve läßt sich also eine Hyperbel entwickeln, die freilich einen ganz anderen Endpunkt hat als die logarithmische Kurve. Andererseits muß sich auch ein Teil einer Hyperbel zu einer logarithmischen Kurve vervollständigen lassen. Je kürzer der Abschnitt der Kurve ist, aus dem die andere Kurve entwickelt ist, desto geringer ist der Unterschied im Verlauf der beiden Kurven. Diese Feststellung zeigt, daß für die Ergebnisse einer großen Reihe von Versuchen es möglich sein muß, den Ertrag aus der Hyperbelgleichung und aus der logarithmischen Gleichung mit befriedigender Übereinstimmung mit den gefundenen Werten zu berechnen.

Eine Berechnung der Erträge aus einem empirisch bestimmten Höchstertrag und einer angenommenen oder eventuell auch berechneten Halbwertsgröße genügt also nicht um festzustellen, ob die Beziehung zwischen einem Wachstumsfaktor und dem Ertrag durch die Hyperbelgleichung oder durch die logarithmische Gleichung wiedergegeben wird. Nur eine Berechnung der beiden Konstanten A und c in der logarithmischen Gleichung und E und h in der Hyperbel liefern Grundlagen, die unabhängig von willkürlichen Annahmen zeigen, durch welche Funktion die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag wiedergegeben wird. Vor-

aussetzung für eine Berechnung der Konstanten ist, wie oben gezeigt, daß die Größen des Wachstumsfaktors eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden.

Da von den vielen Vegetationsversuchen, die im Schrifttum beschrieben sind, nur bei wenigen diese Bedingung erfüllt ist, müssen spätere Versuche weiteres Material liefern, um die Frage einwandfrei zu klären. Die bisher vorliegenden Vegetationsversuche, die eine Berechnung der Konstanten A und c und E und h ermöglichen, deuten darauf hin, daß die von Mitscherlich angenommene Beziehung $\frac{dy}{dx} = (A - y)\,c$, also die logarithmische Gleichung, den Ertragszuwachs bei steigendem Wachstumsfaktor am besten wiedergibt.

In einigen Fällen ist die Übereinstimmung der aus der Hyperbel berechneten Konstanten E und h dagegen besser, als die Übereinstimmung der berechneten A- und c-Werte. Auch die aus den Erträgen eines Vegetationsversuches in Quarzsand nach der Hyperbel berechneten Erträge zeigen eine bessere Übereinstimmung mit den gefundenen Erträgen, als die nach der logarithmischen Gleichung berechneten Erträge. Die relativ gute Übereinstimmung der nach der Hyperbel berechneten Erträge mit den gefundenen, die gerade bei Sandkultur festgestellt wurde, bei denen die Salze nach und nach verabfolgt wurden, um eine Salzschädigung auszuschließen, läßt die Frage aufkommen, ob nicht überhaupt die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag durch die Hyperbel wiedergegeben wird, nur die bei den höheren Nährstoffgaben verabfolgten Salzmengen drücken den Ertrag und täuschen eine logarithmische Beziehung vor. Auch Boresch (10) hat an einem Vegetationsversuch gezeigt, daß die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag durch eine andere Formel besser wiedergegeben wird als durch die logarithmische Gleichung. Boresch ist zu seiner Formel von der Annahme aus gekommen, daß der Ertragszuwachs auf jedem Punkt der Ertragskurve durch Vergrößerung von x proportional dem Quadrat des am Höchstertrag fehlenden Ertrages sei

$$\frac{dy}{dx} = (A - y)^2\,c \qquad \text{(XIV)}.$$

In einer anderen Arbeit weist Boresch (11) darauf hin, daß die Formel, die durch Integrieren der Gleichung XIV erhalten wird, eine Hyperbel ist.

Eine Berechnung der Konstante A und c und auch E und h aus den Versuchsergebnissen soll nun nicht nur die für den Versuch gültige Gleichung ermitteln. Die berechneten Konstanten sagen auch etwas darüber aus, ob alle Versuchsergebnisse gleichwertig sind. Ein Versuchsergebnis, welches einen A- oder E-Wert liefert, der nicht zu dem anderen paßt, ist bei der Auswertung der Versuche nur mit Vorsicht heranzuziehen.

Ist einmal festgestellt, daß bei allen Versuchen die logarith-

mische Gleichung, so wie Mitscherlich annimmt, die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Pflanzenertrag wiedergibt und ist weiter festgestellt, daß die Ergebnisse von Vegetationsversuchen so genau auf der logarithmischen Kurve liegen, daß aus beliebig hohen x-Werten praktisch die gleichen A-Werte errechnet werden, dann kann auch bei Vegetationsversuchen für jede Nährstoffmenge berechnet werden, wie hoch der Ertrag unter sonst gleichen Bedingungen sein würde.

Zusammenfassung.

Die Konstanten A und c in der logarithmischen Gleichung von Mitscherlich

$$\lg A - \lg (A - y) = c\,x$$

können mathematisch aus den Ergebnissen eines Vegetationsversuches berechnet werden, wenn die x-Werte in der Versuchsreihe eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 bilden. Aus Ergebnissen von Vegetationsversuchen mit einer unbestimmten Grunddüngung des Nährstoffs, der in steigendes Salz verabfolgt wurde, können unter denselben Voraussetzungen A, c und b berechnet werden.

Eine Übereinstimmung der A-Werte, die aus den verschiedenen Versuchsergebnissen einer Reihe berechnet sind, zeigt, ob die logarithmische Gleichung die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Pflanzenertrag wiedergibt.

Eine Berechnung der Konstanten E und h in der Hyperbel

$$y = \frac{E\,x}{x + h}$$

ist unter den gleichen Voraussetzungen möglich.

An Versuchsergebnissen aus dem Schrifttum, bei denen eine Berechnung der Konstanten A und c und auch E und h möglich ist, wird gezeigt, daß anscheinend die logarithmische Gleichung die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Pflanzenertrag besser wiedergibt als die Hyperbel, ausgenommen einige Vegetationsversuche in nährstofffreiem Sand.

An einem Beispiel wird gezeigt, daß es nicht möglich ist, aus eng zusammenliegenden Punkten auf der Ertragskurve etwas über die Gleichung auszusagen, welche die Ertragskurve darstellt, da immer eine Hyperbel gefunden werden kann, welche einen kleinen Abschnitt einer logarithmischen Kurve praktisch deckt.

Sobald einwandfrei bewiesen ist, durch welche Gleichung die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag wiedergegeben wird, können die Versuchsergebnisse durch die Berechnung der Konstanten der Gleichung gegenseitig kontrolliert werden, wenn der Versuch so angelegt ist, daß eine mathematische Berechnung der Konstante möglich ist, und wenn die mittleren Fehler der Versuche nicht zu groß sind.

Schrifttum.

1. Mitscherlich, E. A.: Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, 1, 1922, 49.

2. Rippel, A.: Das Ertragsgesetz in F. Honcamp: Handb. d. Pflanzenernähr. u. Düngerlehre. Springer, Berlin 1931, 602.
3. Rippel, A.: Wachstumsgesetze bei höheren und niederen Pflanzen. Verl. Dattern. 1925, 45.
4. Mitscherlich, E. A.: Bodenkunde f. Land- u. Forstwirte, 3. Aufl., P. Parey, Berlin 1920, 343.
5. Mitscherlich, E. A.: Pflanzenphysiologische Vorarbeiten zur chemischen Düngemittelanalyse. Landw. Jb., Berlin, **49**, 1916, 335.
6. Vageler, P. u. F. Alten: Böden des Nil und Gash III. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **22**, 1931, 21—51.
7. Rauterberg, E.: Die Wirkung der Nährstoffe bei nesterartiger und bei absolut gleichmäßiger Verteilung im Boden. Ernähr. d. Pflanze, Berlin, **33**, 1937, 201.
8. Rippel, A.: Zur experimentellen Widerlegung des Mitscherlich-Bauleschen Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **8**, 1926/27, 65.
9. Mitscherlich, E. A. u. F. Dühring: Über die Konstanten im Wirkungs gesetz der Wachstumsfaktoren. Schr. Königsberg. Gelehrt. Ges., **5**, Naturwiss. Kl., 1928, H. 2 (Verl. Niemeyer, Halle/S.), 31.
10. Boresch, K.: Über die Beziehung zwischen Wachstumsfaktor und Ertrag. Planta, Arch. wiss. Botanik, Berlin, **2**, 1926, 388.
11. Boresch, K.: Über Ertragsgesetze bei Pflanzen. Ergebn. Biol., **4**, 1928, 155.

[296]

Beiträge zur Frage der Phosphorsäuredüngung.

Von **Werner Selke***).
(Mitteilung aus der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Lauchstädt.)

Eingegangen: 10. November 1938.

Gerlach (1) machte bereits im Jahre 1916 darauf aufmerksam, daß es durch Überleiten von Ammoniak über Superphosphat gelingt, einen stickstoffhaltigen Phosphorsäuredünger zu erzeugen, dessen wirtschaftlicher Vorteil in der Ersparung der Trocknungs- und Mischungskosten und der Schwefelsäure zum Binden des Ammoniaks liegt. In Feld- und Gefäßversuchen fand er (2), daß die Phosphorsäure in dem gebildeten Kalkammonphosphat ebenso gut wirkt wie die wasserlösliche Phosphorsäure des Superphosphates. Kappen (3) kam auf Grund seiner Untersuchungen über die Düngerwirkung von Kalkammonphosphat zu dem Schluß, daß diesem Produkt neben den in langjähriger Verwendung bestens bewährten Düngemitteln ein Platz gebühre. Das von der Chemischen Fabrik Kalk-Köln fabrikmäßig hergestellte Scheiblersche Kalkammonphosphat wurde deshalb auch von uns seit dem Jahre 1933 in der Form des Kamp I zu einer Reihe bekannter Phosphorsäuredünger unter verschiedenen Bedingungen in Vergleich gesetzt.

Das Kamp I weist einen Gehalt von rund 7% Ammoniakstickstoff und 17% zitronensäurelöslicher Phosphorsäure auf. In allen Versuchen wurde nur der tatsächlich im Handel zur Berechnung kommende Phosphorsäuregehalt der Düngemittel eingesetzt, d. h. es wurden gleiche Mengen zitronensäurelöslicher Phosphorsäure des Kalkammonphosphates, wasserlöslicher Phosphorsäure des Superphosphates, zitratlöslicher Phosphorsäure des Rhenaniaphosphates und zitronensäurelöslicher Phosphorsäure des Thomasmehls miteinander in ihrer Wirkung auf die Erträge und Phosphorsäureaufnahmen verglichen.

I. Versuche auf neutral-alkalischem, humosen Lauchstädter Lößlehm.

A. Gefäßversuche.

Gefäßversuch zu Hafer 1933.

Boden: Lauchstädter Lößlehm. pH (KCl): 7,22.

---

*) Aus dem Arbeitskreis II/8: Federführung Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin.

Phosphorsäuretestzahl: 2,5 } im Bikarbonatauszug nach Dirks-Scheffer.
mg Kali in 100 g Boden: 0,63 }
Düngung je Gefäß (6 kg Boden):

0,6 g N als schwefelsaures Ammoniak. (Die Versuchsglieder mit Kalkammonphosphat erhielten in diesem und in den übrigen Versuchen entsprechend seinem Stickstoffgehalt weniger schwefelsaures Ammoniak.)

2,0 g Kaligemisch, bestehend aus 1 Teil schwefelsaurem Kali, 1 Teil Chlorkalium und 1/2 Teil schwefelsaurem Magnesium.

0,6 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.

Sämtliche Dünger wurden beim Ansatz des Versuches am 9. Juni 1933 mit dem Boden vermischt.

Aussaat: 14. Juni. Aufgang: 20. Juni. Ernte: 27. September.
Zahl der Wiederholungen: 4.

Trockensubstanzerträge

	Körner			Stroh			Gesamtertrag		
		Phosphorsäure			Phosphorsäure				Phosphorsäure
	g	%	g	g	%	g	g	m	g
Ohne P_2O_5	14,8	0,904	0,134	27,8	0,187	0,052	42,7	1,54	0,186
Superphosphat	19,1	1,021	0,195	31,9	0,510	0,163	51,0	0,49	0,358
Thomasmehl	15,7	1,062	0,167	31,7	0,425	0,135	47,4	1,28	0,302
Kalkammonphosphat	18,6	0,959	0,178	29,1	0,230	0,067	47,7	0,56	0,245

Gefäßversuch zu Hafer 1934.

Boden: Lauchstädter Lößlehm. pH (KCl): 6,60.
Phosphorsäuretestzahl: 1,8 } im Bikarbonatauszug nach Dirks-Scheffer.
mg Kali in 100 g Boden: 0,46 }
Düngung je Gefäß (6 kg Boden) am 13. April:

0,8 g N als schwefelsaures Ammoniak.
2,0 g dreiteiliges Kaligemisch wie im Versuch 1933.
0,6 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.

Aussaat: 24. April. Aufgang: 1. Mai. Ernte: 3. August.
Zahl der Wiederholungen: 4.

Trockensubstanzerträge.

	Körner			Stroh			Gesamtertrag		
		Phosphorsäure			Phosphorsäure				Phosphorsäure
	g	%	g	g	%	g	g	m	g
Ohne P_2O_5	22,8	0,544	0,124	25,7	0,057	0,015	48,5	1,10	0,139
Superphosphat	44,2	0,885	0,391	48,8	0,062	0,030	93,0	0,65	0,421
Thomasmehl	40,8	0,838	0,342	45,4	0,076	0,035	86,2	1,95	0,377
Kalkammonphosphat	39,5	0,652	0,258	42,3	0,037	0,016	81,8	1,12	0,274
Rhenaniaphosphat	43,1	0,764	0,329	45,2	0,051	0,023	88,3	1,18	0,352

Gefäßversuch zu Hafer 1935.

Der Gefäßversuch 1934 wurde, um die Nachwirkung mitzuerfassen, umgetopft, von neuem gedüngt und wiederum mit Hafer (Siegeshafer) bestellt.

Düngung 1935 je Gefäß (6 kg Boden) am 18. April:
0,4 g N als schwefelsaures Ammoniak.
0,6 g K_2O als 40er Kali.
0,4 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.
Aussaat: 26. April. Aufgang: 6.—9. Mai. Ernte: 7. August.
Zahl der Wiederholungen: 4.

Trockensubstanzerträge.

	Körner			Stroh			Gesamtertrag		
		Phosphorsäure			Phosphorsäure				Phosphorsäure
	g	%	g	g	%	g	g	m	g
Ohne P_2O_5	4,3	0,836	0,036	7,3	0,151	0,011	11,6	0,69	0,047
Superphosphat	16,3	0,944	0,154	24,5	0,252	0,062	40,8	0,78	0,216
Thomasmehl	14,3	0,957	0,137	22,4	0,221	0,050	36,7	1,03	0,187
Kalkammonphosphat	10,9	0,811	0,088	14,9	0,106	0,016	25,8	0,87	0,104
Rhenaniaphosphat	15,7	0,942	0,148	22,6	0,214	0,048	38,3	0,62	0,196

Durchschnittsergebnisse
der drei Gefäßversuche zu Hafer auf Lauchstädter Lößlehm.

a) Trockensubstanzerträge.

	Körner		Stroh		Gesamtertrag	
	g	relativ	g	relativ	g	relativ
Ohne P_2O_5	14,0	52,8	20,3	57,8	34,3	55,6
Superphosphat	26,5	100	35,1	100	61,6	100
Thomasmehl	23,6	89,0	33,2	94,6	56,8	92,2
Kalkammonphosphat	23,0	86,7	28,8	82 0	51,8	84,0

Mehrerträge gegenüber: „Ohne Phosphorsäure."

Superphosphat	12,5	100	14,8	100	27,3	100
Thomasmehl	9,6	76,6	12,9	87,2	22,5	82,3
Kalkammonphosphat	9,0	71,8	8,5	57,4	17,5	64,0

b) Phosphorsäureaufnahmen.

	Körner		Stroh		Körner + Stroh	
	g	relativ	g	relativ	g	relativ
Ohne P_2O_5	0,098	39,7	0,026	30,6	0,124	37,3
Superphosphat	0,247	100	0,085	100	0,332	100
Thomasmehl	0,215	87,0	0,073	85,9	0,289	87,0
Kalkammonphosphat	0,175	70,8	0,033	38,8	0,208	62,7

Mehraufnahmen gegenüber: „Ohne Phosphorsäure."

	Körner		Stroh		Körner+Stroh		Phosphorsäureausnutzung
	g	relativ	g	relativ	g	relativ	%
Superphosphat	0,149	100	0,059	100	0,208	100	39,0
Thomasmehl	0,117	78,5	0,047	79,7	0.165	79,3	31,0
Kalkammonphosphat	0,077	51,7	0,007	11,9	0,084	40,4	15,8

Auf dem Lauchstädter Lößlehm war das Superphosphat allen übrigen in den Vergleich einbezogenen Phosphorsäuredüngern überlegen. Das Rhenaniaphosphat ordnete sich in den beiden Jahren, wo es mitgeprüft wurde, hinsichtlich seiner Erträge zwischen Superphosphat und Thomasmehl ein. Das Kalkammonphosphat hat regelmäßig am wenigsten Stroh erzeugt. In der Kornleistung erreichte es das Superphosphat und Rhenaniaphosphat ebenfalls nicht, blieb aber hinter dem Thomasmehl im Durchschnitt kaum zurück.

Bei den Phosphorsäureaufnahmen war die Rangfolge im allgemeinen die gleiche wie bei den Erträgen: Superphosphat, Thomasmehl, Kalkammonphosphat, jedoch waren die Abstände zwischen den einzelnen Formen relativ größer. Auffallend niedrig lagen die Werte beim Kalkammonphosphat, da hier die geringsten Gesamterträge mit dem niedrigsten prozentualen Phosphorsäuregehalt von Korn und Stroh zusammenfielen. Der Phosphorsäuregehalt des Strohes war beispielsweise beim Kalkammonphosphat nur etwa halb so hoch wie beim Superphosphat.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Gerlach wurde also in unseren Versuchen die Phosphorsäure des Kalkammonphosphates erheblich schwerer aufgenommen als diejenige des Superphosphates*).

Der Grund ist darin zu suchen, daß das Kalkammonphosphat mit Wasser nicht nur in Di-, sondern auch in Trikalziumphosphat zerfällt. Der Verlauf dieser Umsetzung wird vermutlich nicht allein von der Zusammensetzung des Produktes selbst abhängen. Standortsfaktoren wie die Reaktion und der Kalkgehalt des Bodens werden eine Rolle spielen. Schließlich kann auf dem neutral-alkalischen Lößlehm die geringe Phosphorsäureaufnahme beim Kalkammonphosphat durch den geringeren „Säureballast" dieses Düngers mitbedingt sein: Die mit Kamp I gedüngten Versuchsglieder erhielten aus Gründen des Stickstoffausgleiches eine entsprechend geringere Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak. Die physiologisch saure Wirkung des Ammonsulfates ist bei der neutralen Reaktion des Versuchsbodens kein Nachteil. Sie kann sogar gewisse günstige Wirkungen auslösen, die keineswegs im Sinne der Theorie von Aereboe-Wrangell (7) praktisch überschätzt werden sollen, aber zweifellos unter den vorliegenden, extremen Verhältnissen mitsprechen können.

Münter unterteilte im Jahre 1925 die seit 1902 laufenden Lauchstädter statischen Versuche u. a. in eine Kalksalpeter- und Ammonsulfatgruppe. Die nachfolgende Gegenüberstellung der Erträge und Phosphorsäureaufnahmen der Mineralgruppe zeigt deutlich, daß in dem NK-Teilstück die Phosphorsäureaufnahmen

*) Während der Aufarbeitung unserer Versuche wurden in dieser Zeitschrift Gefäßversuche von Schmitt (4), Lehmann (5) und Popp (6) veröffentlicht. Diese fanden auf kalkreichen Böden ebenfalls eine deutlich geringere Ausnutzung der im Kalkammonphosphat enthaltenen Phosphorsäure.

Statischer Nährstoffmangelversuch Lauchstädt.
A) NPK ohne Stallmist.
I. Schwefelsaures Ammoniak.

	Wurzeln			Blatt			Wurzeln + Blatt
	Trockensubstanz						Phosphorsäure
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
Zuckerrüben							
1925	75,1	0,23	17,27	23,5	1,07	25,14	42,41
1929	85,4	0,23	19,22	40,7	0,50	20,31	39,53
1933	95,6	0,28	26,67	39,5	0,64	25,28	51,95
1937	124,4	0,35	43,90	46,78	0,96	44,82	88,72
Mittel	95,12		26,77	37,62		28,89	55,65

Sommergerste

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1926	28,10	0,88	24,73	37,45	0,22	8,24	32,97
1930	36,22	0,78	28,11	49,65	0,14	7,05	35,16
1934	21,41	0,74	15,84	24,31	0,09	2,19	18,03
Mittel	28,58		22,89	37,14		5,83	28,72

Kartoffeln

	Knollen		
	Trockensubstanz		
		Phosphorsäure	
	dz/ha	%	kg/ha
1927	72,4	0,57	41,27
1931	75,2	0,43	32,19
1935	41,4	0,49	20,12
Mittel	63,0		31,19

Winterweizen

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1928	40,52	0,76	30,80	68,16	0,10	6,82	37,62
1932	40,66	0,85	34,56	80,28	0,12	9,63	44,19
1936	32,65	0,91	29,74	76,55	0,16	12,48	42,22
Mittel	37,94		31,70	75,00		9,64	41,34

in der Ammonsulfatreihe höher waren als beim Kalksalpeter und daß das Aufschlußvermögen des sauren Salzes sich auch auf die Erträge günstig ausgewirkt hat.

Bei mineralischer Volldüngung war das schwefelsaure Ammoniak nur zu Kartoffeln eindeutig überlegen. Von Rüben, Sommer-

II. Kalksalpeter (1925 und 1926 Natronsalpeter).

	Wurzeln			Blatt			Wurzeln + Blatt
	Trockensubstanz						Phosphorsäure
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha

Zuckerrüben

1925	91,5	0,22	20,13	35,8	0,72	25,78	45,91
1929	86,0	0,23	19,61	42,8	0,47	20,29	39,90
1933	79,5	0,29	23,37	57,3	0,50	28,59	51,96
1937	132,6	0,31	40,85	47,6	0,78	37,25	78,10
Mittel	97,4		25,99	45,9		27,98	53,97

Sommergerste

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1926	30,13	0,91	27,42	43,35	0,19	8,24	35,66
1930	34,66	0,78	27,10	46,84	0,12	5,67	32,77
1934	18,63	0,75	13,88	23,26	0,10	2,42	16,30
Mittel	27,81		22,80	37,82		5,44	28,24

Kartoffeln

	Knollen		
	Trockensubstanz		
		Phosphorsäure	
	dz/ha	%	kg/ha
1927	66,8	0,46	30,73
1931	61,9	0,40	24,76
1935	38,8	0,37	14,51
Mittel	55,83		23,33

Winterweizen

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1928	42,69	0,74	31,59	81,57	0,14	11,42	43,01
1932	36,85	0,85	31,32	78,85	0,14	11,04	42,36
1936	27,92	0,92	25,71	83,44	0,16	13,35	39,06
Mittel	35,82		29,54	81,29		11,94	41,48

gerste und Winterweizen erzeugten beide Dünger annähernd gleiche Mengen verkaufsfähiger Produkte (Wurzeln bzw. Körner), während in den Stroh- bzw. Blatterträgen zumeist der Kalksalpeter die Führung hielt.

Bei Unterlassung der Phosphorsäuredüngung dagegen erzielte

B) NK ohne Stallmist.
I. Schwefelsaures Ammoniak.

	Wurzeln			Blatt			Wurzeln + Blatt
	Trockensubstanz						Phosphorsäure
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
Zuckerrüben							
1925	55,7	0,15	8,35	33,2	0,41	13,62	21,97
1929	69,1	0,29	19,83	47,1	0,20	9,37	29,20
1933	59,4	0,11	6,59	43,7	0,24	10,44	17,03
1937	104,9	0,15	15,73	44,6	0,33	14,71	30,44
Mittel	72,3		12,63	42,2		12,04	24,66

Sommergerste

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1926	25,27	0,85	21,48	37,56	0,15	5,63	27,11
1930	34,30	0,64	21,92	40,50	0,07	3,00	24,92
1934	17,91	0,48	8,60	18,35	0,03	0,55	9,15
Mittel	25,83		17,33	32,14		3,06	20,39

Kartoffeln

	Knollen		
	Trockensubstanz		
		Phosphorsäure	
	dz/ha	%	kg/ha
1927	55,3	0,34	18,80
1931	54,1	0,30	16,39
1935	36,99	0,31	11,47
Mittel	48,8		15,55

Winterweizen

	Körner (14% H_2O)			Stroh (14% H_2O)			Körner + Stroh
		Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
1928	31,31	0,63	19,73	51,50	0,03	1,54	21,27
1932	35,72	0,76	27,15	69,03	0,09	6,21	33,36
1936	29,41	0,74	21,73	73,45	0,07	4,77	26,50
Mittel	32,15		22,87	64,66		4,17	27,04

der physiologisch saure Dünger auch bei Weizen und Gerste höhere Korn- und Stroherträge, lediglich in der Blattleistung bei den Zuckerrüben kam er nicht ganz an den Kalksalpeter heran.

Eine zwölf Jahre lange einseitige Verwendung von schwefelsaurem Ammoniak hat also in Lauchstädt keineswegs geschadet. Es liegt somit kein Anlaß vor, auf den neutral-alkalischen mittel-

II. Kalksalpeter (1925 und 1926 Natronsalpeter).

Zuckerrüben

	Wurzeln Trockensubstanz dz/ha	Wurzeln Phosphorsäure %	Wurzeln Phosphorsäure kg/ha	Blatt Trockensubstanz dz/ha	Blatt Phosphorsäure %	Blatt Phosphorsäure kg/ha	Wurzeln + Blatt Phosphorsäure kg/ha
1925	56,1	0,13	7,29	39,5	0,41	16,19	23,48
1929	65,3	0,12	7,77	45,0	0,24	10,76	18,53
1933	51,7	0,13	6,62	55,0	0,21	11,33	17,95
1937	104,5	0,11	11,08	52,76	0,33	17,41	28,49
Mittel	69,4		8,19	48,07		13,92	22,11

Sommergerste

	Körner (14% H_2O) dz/ha	Körner Phosphorsäure %	Körner Phosphorsäure kg/ha	Stroh (14% H_2O) dz/ha	Stroh Phosphorsäure %	Stroh Phosphorsäure kg/ha	Körner + Stroh Phosphorsäure kg/ha
1926	23,43	0,76	17,81	41,55	0,11	4,57	22,38
1930	27,97	0,57	15,89	33,05	0,08	2,64	18,53
1934	12,84	0,53	6,82	11,17	0,07	0,77	7,59
Mittel	21,41		13,51	28,59		2,66	16,17

Kartoffeln

	Knollen Trockensubstanz dz/ha	Knollen Phosphorsäure %	Knollen Phosphorsäure kg/ha
1927	45,7	0,25	11,42
1931	39,6	0,27	10,53
1935	24,5	0,26	6,42
Mittel	36,6		9,46

Winterweizen

	Körner (14% H_2O) dz/ha	Körner Phosphorsäure %	Körner Phosphorsäure kg/ha	Stroh (14% H_2O) dz/ha	Stroh Phosphorsäure %	Stroh Phosphorsäure kg/ha	Körner + Stroh Phosphorsäure kg/ha
1928	29,66	0,54	16,02	56,65	0,09	5,10	21,12
1932	28,41	0,73	20,74	65,13	0,10	6,51	27,25
1936	23,26	0,81	18,89	59,36	0,10	5,94	24,83
Mittel	27,11		18,55	60,38		5,85	24,40

deutschen Schwarzerdebildungen aus einer allgemeinen Säurepsychose heraus die sauren Düngemittel zu meiden. Zu Kartoffeln und Getreide können sie hier durchaus mit Vorteil angewendet werden.

B. Feldversuche.

Zur Ergänzung der obigen Gefäßversuche wurden in Lauchstädt auf

einem Schlage, der seit 1922 keinen Stallmist erhalten hatte und an Phosphorsäure systematisch ausgeraubt worden war, Feldversuche durchgeführt. Bodenuntersuchungen nach Neubauer-Schneider und Dirks-Scheffer zeigten eine starke Verarmung des Bodens an Phosphorsäure an.

Der Erfolg der Phosphorsäuredüngung blieb jedoch weit hinter den Erwartungen zurück. Häufig brachten sogar die nicht mit Phosphorsäure gedüngten Teilstücke ebenso hohe Erträge.

Bei dem Vergleich verschiedener Düngemittel scheut man sich, die Vergleichsdüngung zu hoch zu bemessen, um die Unterschiede in der Wirkung der einzelnen Formen nicht zu verdecken. So haben wir uns in unseren Phosphorsäureversuchen mit Gaben von 30—50 kg/ha P_2O_5 begnügt. Wir vermuteten deshalb zunächst, daß das Ausbleiben der Phosphorsäurewirkung darauf zurückzuführen sei, daß die verabfolgten Phosphorsäuremengen zu gering waren und vom Boden zu stark festgelegt wurden. Gegen diese Annahme sprechen aber mehrere wichtige Umstände:

1. Die Erträge lagen keineswegs anormal niedrig, wie man es bei starkem Phosphorsäuremangel erwarten sollte (Winterweizen 1933: 41 dz/ha Körner, Zuckerrüben 1935: 318,6 dz/ha Wurzeln).

2. Durch die Bodenuntersuchung ließ sich die im Herbst gegebene Phosphorsäure noch im Frühjahr an der Anreicherung des Bodens mit leichtlöslicher Phosphorsäure nachweisen.

3. In einem Phosphorsäuresteigerungsversuch, der seit 1934 auf dem gleichen Schlage läuft, haben die höheren Phosphorsäuregaben die Körnerernten in keinem Falle wesentlich erhöht, bei den Hackfrüchten sogar gewisse Depressionen ausgelöst: die Rüben- und Kartoffelerträge und der Stärkegehalt der Kartoffeln waren bei der schwächeren Phosphorsäuredüngung höher.

Phosphorsäuresteigerung auf Lauchstädter Lößlehm.

Bodenuntersuchung: pH (KCl) : 7,59

Phosphorsäuretestzahl nach Dirks-Scheffer: 1934: 3,5; 1935: 1,8 („ohne Düngung"); 1936: siehe unten.

Düngung von Versuchsglied 3 (Normale Phosphorsäuregabe):

	N kg/ha	P_2O_5 kg/ha	K_2O kg/ha	
1934	40	28,96	74,30	1934 und 1935 als Nitrophoska II
1935	90	68,88	166,93	1936 und 1937 als Nitrophoska
1936	30	31,13	51,01	(kalkhaltig)
1937	40	43,74	69,86	

Versuchsglied 2: „Ohne Phosphorsäure" erhielt entsprechende Mengen von N als Leunamontan bzw. Kalkammonsalpeter und Kali. Die zusätzlichen Phosphorsäuregaben in Versuchsglied 3 und 4 wurden als Superphosphat gegeben.

Depressionen durch höhere Phosphorsäuregaben, wie sie sich in den obigen Zahlen bei Rüben und Kartoffeln widerspiegeln, sind nach unseren Erfahrungen nicht ganz so selten, wie man zumeist annimmt. Sie wurden in Lauchstädt im Jahre 1934 auch in Stallmistgruppen des statischen Versuches beobachtet:

Erträge:

	1934 Winterweizen			1935 Zuckerrüben			
	Körner		Stroh	Wurzeln		Zucker	Blatt Trockensubstanz
	dz/ha	m %	dz/ha	dz/ha	m %	dz/ha	dz/ha
1. Ohne Düngung	19,96	2,06	29,26	266,4	5,22	60,74	32,54
2. Ohne Phosphorsäure	24,32	2,51	34,54	284,6	5,61	64,60	52,49
3. Normale P_2O_5-Gabe	22,58	2,33	36,82	328,3	4,04	74,85	47,70
4. Norm. P_2O_5 + 15 kg/ha P_2O_5	23,26	2,40	36,00	321,5	2,45	72,98	50,72
5. Norm. P_2O_5 + 30kg/ha P_2O_5	24,81	2,56	38,18	303,1	3,14	68,96	54,20

	1936 Sommergerste			1937 Kartoffeln			Phosphorsäuretestzahl nach Dirks-Scheffer 23.3.1936
	Körner		Stroh	Knollen		Stärke	
	dz/ha	m %	dz/ha	dz/ha	m %	dz/ha	
1. Ohne Düngung	13,39	2,76	13,63	165,1	4,20	35,83	3,5
2. Ohne P_2O_5	17,16	3,18	25,60	203,6	4,97	42,55	3,3
3. Normale Gabe	21,04	2,53	26,32	219,3	2,12	48,24	5,8
4. Norm. Gabe + 15 kg/ha P_2O_5	22,53	1,37	28,79	221,4	3,00	46,04	5,0
5. Norm. Gabe + 30 kg/ha P_2O_5	22,17	2,23	29,28	208,4	1,25	42,93	6,5

Lauchstädter statischer Versuch.
Zuckerrüben 1934 (Ernte: 14. 11. 34).

	I. Ohne Leguminosen in der Vorfrucht 200 dz/ha Stallmist				II. Mit Leguminosen in der Vorfrucht 300 dz/ha Stallmist			
	Wurzeln			Blatt	Wurzeln			Blatt
		Zucker		Tr.-Subst.		Zucker		Tr.-Subst.
	dz/ha	%	dz/ha	dz/ha	dz/ha	%	dz/ha	dz/ha
NPK	364,8	21,6	78,8	47,6	361,1	21,03	75,9	46,3
NK	400,7	21,8	87,4	48,0	392,8	21,2	83,3	49,1

Wir vermuten, daß die stärkere Phosphorsäuredüngung hier mit Bezug auf den späten Erntetermin einen zu frühen Abschluß des Wachstums verursacht hat. (Zeitigeres Absterben des Krautes.)

Die Rüben nehmen erfahrungsgemäß in Mitteldeutschland bei geeigneter Witterung bis spät in den Herbst hinein noch an Masse und Zucker zu. Bei zu starker Reifebeschleunigung können sie daran gehindert werden, klimatisch günstige Herbste voll auszunutzen. Die Erntetermine in den beobachteten Fällen ungünstiger Wirkung höherer Phosphorsäuregaben liegen verhältnismäßig spät (1934: 14. November, 1935: 7. November).

Es erscheint somit nicht ausgeschlossen, daß der Erfolg der Phosphorsäuredüngung nicht nur von dem Nährstoffgehalt des Bodens und der Witterung, sondern unter Umständen bis zu

einem gewissen Grade auch von dem Zeitpunkt der Ernte abhängt, eine Frage, die in besonderen Versuchen eingehender bearbeitet werden soll.

Die in unseren Feldversuchen deutlich zum Ausdruck kommende Unsicherheit der Phosphorsäurewirkung in Lauchstädt auf dem systematisch an diesem Nährstoff ausgehungerten und nach der Bodenuntersuchung tatsächlich nur einen geringen Gehalt an pflanzenlöslicher Phosphorsäure aufweisenden Schlage bedarf einer weiteren Klärung. Offenbar ist der humose Lößlehm, eine der Schwarzerde nahestehende Bodenbildung, selbst nach mehr als zehnjährigem Raubbau in der Lage, bei entsprechender Witterung aus dem schwerer löslichen Bodenvorrat soviel Phosphorsäure zur Verfügung zu stellen, daß Pflanzen, die keine allzuhohen Ansprüche an die Intensität der Nachlieferung stellen, keinen zu hohen Spitzenbedarf haben und über eine ausreichend lange Wachstumszeit verfügen, gelegentlich ohne Zufuhr von Düngerphosphorsäure die durch die übrigen Wachstumsfaktoren bestimmten Höchsterträge erreichen können.

Im Oktober des Jahres 1926 wurden auf dem seit 1922 ausgeraubten Schlage 4,76 mg wurzellösliche Phosphorsäure mit Hilfe der Keimpflanzenmethode ermittelt. Zwei Jahre später, September 1928, lag der Wert trotz Unterlassung jeglicher Stallmist- und Phosphorsäuredüngung nicht etwa niedriger sondern sogar höher, nämlich bei 6,02 mg. Es ist selbstverständlich möglich, daß dieser merkwürdige Befund in Unzulänglichkeiten der Probenahme bzw. der Untersuchungsmethodik seinen Grund hat. Es wäre aber auch denkbar, daß in diesen Zahlen ebenso wie in den Ergebnissen der Feldversuche die Abhängigkeit des Nachlieferungsvermögens des Bodens von der Witterung, Vorfrucht oder anderen Faktoren zum Ausdruck kommt. Jedenfalls geben die geschilderten Verhältnisse ein anschauliches Beispiel für die Schwierigkeiten, vor die man gestellt sein kann, wenn man die Ergebnisse von Feldversuchen für die Beurteilung von Bodenuntersuchungsmethoden heranzieht. Wir sind deshalb durchaus derselben Meinung wie Behrens (8), daß eine sehr große Zahl von Feldversuchsergebnissen zur Verfügung stehen muß, wenn in dieser Beziehung mit einiger Aussicht auf Erfolg auf statistischem Wege etwas erreicht werden soll.

Zur Prüfung des Kalkammonphosphates wurden von uns auf dem vorstehend näher charakterisierten Schlage zwei mehrjährige Feldversuche durchgeführt: der eine in den Jahren 1932—35 in der Fruchtfolge: Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, der andere von 1933—35 in der Fruchtfolge: Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste.

Der erstere sei infolge der in drei Jahren völlig unzulänglichen Phosphorsäurewirkung nur in einer kurzen Zusammenstellung wiedergegeben:

Fehlerkritisch gesehen hat die Phosphorsäuredüngung nur bei der Sommergerste 1932 eine Ertragssteigerung bewirkt und auch hier nicht bei allen Phosphorsäureformen. Das Superphosphat stand 1932 wie in den Gefäßversuchen an erster Stelle. Das Kalkammonphosphat blieb besonders im Strohertrag hinter ihm zurück. Es brachte in den Jahren 1934 und 1935 die geringsten Stroh- bzw. Blatterträge von sämtlichen Phosphorsäureformen,

Phosphorsäureformenversuch 1932—1935.

Boden: Lauchstädter Lößlehm.
pH (KCl): 7,30.
Phosphorsäuretestzahl nach Dirks-Scheffer: 3,0.
Anbaudaten: Zahl der Wiederholungen: 4.

	N		P_2O_5		K_2O		Aussaat am	Ernte am
	kg/ha	am	kg/ha	am	kg/ha	am		
1932	40	18. 4. 32	50	18. 4. 32	80	18. 4. 32	22. 3. 32	25. 7. 33
1933	40	28. 3. 33	30	28. 3. 33	100	28. 3. 33	2. 5. 33	25. 9. 33
1934	50	19. 10. 33	30	19. 10. 33	80	19. 10. 33	22. 10. 33	19. 7. 34
1935	120	24. 4. 35	50	20. 10. 34	120	24. 4. 35	4. 5. 35	18. 11. 35

	1932 Sommergerste			1933 Kartoffeln		1934 Winterweizen		
	Körner		Stroh	Knollen		Körner		Stroh
	dz/ha	m %	dz/ha	dz/ha	m %	dz/ha	m %	dz/ha
Ohne P_2O_5	27,08	1,70	30,50	168,6	2,92	24,90	0,77	37,02
Rhenaniaphosphat .	26,46	1,10	26,20	165,8	2,58	25,87	2,17	37,98
Thomasmehl . . .	27,08	1,88	27,63	170,9	2,77	25,10	0,77	35,95
Superphosphat . . .	29,88	2,31	29,12	168,8	5,78	25,19	1,88	36,72
Kalkammonphosphat.	28,78	1,15	26,65	166,7	1,28	24,81	2,19	32,36

1935. Zuckerrüben.

	Wurzeln		Zucker		Blatt
	dz/ha	m %	%	dz/ha	Trockensubstanz dz/ha
Ohne P_2O_5	318,6	6,03	21,85	69,62	66,68
Rhenaniaphosphat. .	315,0	1,85	21,95	69,14	67,36
Thomasmehl . . .	320,7	3,31	22,15	71,02	68,89
Superphosphat . . .	323,4	5,23	22,20	71,79	73,30
Kalkammonphosphat.	317,9	4,84	22,00	69,94	66,09

dagegen hat es bei der Sommergerste 1932 das Rhenaniaphosphat und Thomasmehl im Kornertrag übertroffen. Wir möchten bei den unsicheren Ertragsunterschieden zusammenfassend über die Ergebnisse dieses Feldversuches nicht mehr sagen, als daß die im Gefäßversuch gefundene Überlegenheit des Superphosphates über das Kalkammonphosphat durch ihn jedenfalls nicht widerlegt wird.

Der zweite mehrjährige Feldversuch brachte wenigstens in zwei von drei Jahren eine leidliche Phosphorsäurewirkung. Auf ihn sei deshalb näher eingegangen.

Phosphorsäureformenversuch zu Winterweizen 1933.

Boden: Humoser Lößlehm. Seit 1922 ohne Stallmist.
pH (KCl): 7,22.
Phosphorsäuretestzahl: 2,5 } im Bikarbonatauszug
mg K_2O/100 g Boden: 0,63 } nach Dirks-Scheffer.

Düngung:

40 kg/ha P_2O_5 gemäß Versuchsplan.
50 kg/ha N als schwefelsaures Ammoniak*) } am 10. Oktober 1932.
80 kg/ha K_2O als 40er Kalisalz } am 10. Oktober 1932.

Vorfrucht: Kartoffeln. Versuchsfrucht: Winterweizen (Heine I).
Aussaat: 17. Oktober 32. Ernte: 2. August 33.
Zahl der Wiederholungen: 4.

	Körner (bei 14% H_2O)				Stroh (bei 14% H_2O)			Körne + Stro
			Phosphorsäure			Phosphorsäure		Phos-phor-säure
	dz/ha	m%	%	kg/ha	kg/ha	%	kg/ha	kg/ha
Ohne Phosphorsäure	41,06	2,79	0,796	32,68	61,99	0,065	4,03	36,71
I. Phosphorsäure im Herbst (10. 10. 32) verabfolgt, mit den Bestellungsarbeiten eingeeggt.								
Superphosphat	40,67	5,88	0,773	31,44	62,07	0,012	0,75	32,19
Rhenaniaphosphat	37,40	3,58	0,823	30,78	58,48	0,032	1,87	32,65
Thomasmehl	39,92	4,03	0,789	31,50	60,13	0,027	1,62	33,12
Kalkammonphosphat	40,26	2,88	0,779	31,36	61,85	0,034	2,10	33,46
II. Phosphorsäure im Frühjahr (23. 3. 33) verabfolgt. a) Sofort nach dem Streuen eingeeggt.								
Superphosphat	38,86	3,47	0,832	32,33	60,61	0,022	1,33	33,66
Rhenaniaphosphat	39,56	2,98	0,806	31,89	63,23	0,028	1,77	33,66
Thomasmehl	41,34	2,69	0,782	32,33	62,91	0,035	2,20	34,53
Kalkammonphosphat	41,98	2,79	0,770	32,32	62,75	0,025	1,57	33,89
b) Zunächst obenauf liegen gelassen und erst mit den Pflegearbeiten (Handhacke am 15. 4. 33) in den Boden gebracht.								
Superphosphat	39,63	3,71	0,810	32,10	58,19	0,022	1,28	33,38
Rhenaniaphosphat	38,13	4,02	0,771	29,40	58,67	0,033	1,94	31,34
Thomasmehl	39,51	7,12	0,801	31,65	60,78	0,034	2,07	33,72
Kalkammonphosphat	40,77	5,13	0,777	31,68	59,55	0,021	1,25	32,93

Geringe Niederschläge und relativ milde Temperaturen kennzeichneten Winter und Frühjahr 1932/33. Mai und Juni brachten starke, über dem 36jährigen Durchschnitt liegende Niederschläge. Sie sicherten eine gute Getreideernte.

Die Weizenerträge waren auch bei Unterlassung jeglicher Phosphorsäuredüngung durchaus normal. Die letztere brachte in keinem Fall einen sicheren Mehrertrag. Die Kornerträge waren sogar bei Phosphorsäuredüngung zumeist ein wenig geringer. Die Versuchsreihe: Ohne Phosphorsäure wies die höchste Phosphorsäureaufnahme auf! Auch in den vorher behandelten Versuchen sprach gerade der Winterweizen besonders schwach auf die Phosphorsäuredüngung an.

Phosphorsäureformenversuch zu Zuckerrüben 1934.

Düngung 1934:

36 kg/ha P_2O_5 gemäß Versuchsplan.
120 kg/ha N als Natronsalpeter } am 20. März 34.
120 kg/ha K_2O als 40er Kalisalz } am 20. März 34.

*) Die Versuchsglieder: Kalkammonphosphat erhielten entsprechend dem Stickstoffgehalt dieses Düngers weniger schwefelsaures Ammoniak.

Beim Kalkammonphosphat wurde entsprechend seinem Stickstoffgehalt in der Grunddüngung weniger Stickstoff gegeben.
Aussaat: 19. April 34. Aussaatmenge: 36 kg/ha. Ernte: 23. Oktober 34.

	Wurzeln							
			Zucker		Trockensubstanz		Phosphorsäure	
	dz/ha	m %	%	dz/ha	%	dz/ha	%	kg/ha
Ohne Phosphorsäure	307,3	2,11	21,3	65,45	26,8	82,36	0,139	11,45
I. Phosphorsäure im Herbst auf die mit Scheibenegge gestürzte Stoppel am 19. 10. 33 gegeben und mit eingepflügt.								
Superphosphat	316,5	4,53	21,6	68,36	26,5	83,87	0,173	14,51
Rhenaniaphosphat	346,7	2,87	21,9	75,93	27,2	94,30	0,156	14,71
Thomasmehl	340,7	6,06	21,4	72,91	26,9	91,65	0,114	10,45
Kalkammonphosphat	320,8	4,14	21,2	68,01	26,4	84,69	0,104	8,81
II. Phosphorsäure im Frühjahr am 20. 3. 34 gegeben. a) Sofort nach dem Streuen eingeeggt.								
Superphosphat	332,5	6,17	21,1	70,16	26,8	89,11	0,153	13,63
Rhenaniaphosphat	338,7	3,56	21,3	72,14	26,9	91,11	0,155	14,12
Thomasmehl	337,3	1,39	21,3	71,85	26,5	89,38	0,136	12,16
Kalkammonphosphat	303,6	5,66	21,3	64,67	26,5	80,46	0,181	14,56
b) Zunächst obenauf liegen gelassen und erst am 13. 4. 34 eingeeggt.								
Superphosphat	334,6	5,00	21,5	71,94	27,0	90,34	0,156	14,09
Rhenaniaphosphat	333,7	4,56	21,5	71,74	27,2	90,76	0,173	15,70
Thomasmehl	332,1	6,90	20,8	69,08	26,7	88,67	0,127	11,26
Kalkammonphosphat	317,3	3,85	21,4	67,90	27,1	85,99	0,115	9,89

		Blatt					Wurzeln + Blatt
			Trockensubstanz		Phosphorsäure		Phosphorsäure
		dz/ha	%	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
	Ohne Phosphorsäure	178,2	22,0	39,20	0,349	13,68	25,13
I.	Superphosphat	174,0	21,3	37,06	0,405	15,01	29,52
	Rhenaniaphosphat	176,1	22,1	38,92	0,390	15,18	29,89
	Thomasmehl	174,0	21,0	36,54	0,395	14,43	24,88
	Kalkammonphosphat	176,1	23,9	42,09	0,360	15,15	23,96
II. a)	Superphosphat	183,3	22,3	40,88	0,428	17,50	31,13
	Rhenaniaphosphat	192,8	20,3	39,14	0,419	16,40	30,52
	Thomasmehl	190,7	22,1	42,15	0,381	16,06	28,22
	Kalkammonphosphat	182,3	20,8	37,92	0,370	14,03	28,59
II. b)	Superphosphat	174,0	22,0	38,28	0,382	14,62	28,71
	Rhenaniaphosphat	184,4	22,0	40,57	0,382	15,50	31,20
	Thomasmehl	186,5	22,9	42,71	0,376	16,06	27,32
	Kalkammonphosphat	178,2	23,5	41,88	0,385	16,12	26,01

Im Frühjahr des Jahres 1934 (4. April 1934) wurden aus den im Herbst mit Phosphorsäure gedüngten Teilstücken Krumenproben gezogen. Die Untersuchung nach Dirks-Scheffer hatte folgendes Ergebnis:

Düngung	pH (KCl)	Phosphorsäuretestzahl
Ohne P_2O_5	7,41	3,0
Superphosphat . . .	7,49	5,0
Rhenaniaphosphat . .	7,54	5,8
Thomasmehl	7,42	6,0
Kalkammonphosphat .	7,38	4,0

Die verabfolgte Düngerphosphorsäure ließ sich also noch deutlich im Bikarbonatauszug nachweisen.

Die Ergebnisse des Feldversuches stimmten mit den Befunden der Bodenuntersuchung insofern überein, als Kalkammonphosphat und Superphosphat bei Herbstanwendung nächst den Phosphorsäuremangel-Teilstücken die geringsten Wurzel- und Zuckererträge aufwiesen. Beim Kalkammonphosphat lag auch der prozentische Phosphorsäuregehalt von Wurzeln und Blatt und damit der Phosphorsäureentzug der Gesamternte am niedrigsten.

Nicht im Einklang mit der Bodenuntersuchung stand die relativ hohe Phosphorsäureaufnahme beim Superphosphat und die relativ geringe beim Thomasmehl. Es ergab sich somit trotz etwas anders gelagerter Erträge hinsichtlich der Aufnehmbarkeit der Phosphorsäure ein grundsätzlich ähnliches Bild wie bei den Gefäßversuchen zu Hafer: Superphosphat und Rhenaniaphosphat führten vor Thomasmehl und Kalkammonphosphat.

Bei der Frühjahrsdüngung kam das Superphosphat auch im Rübenertrage an das Rhenaniaphosphat und Thomasmehl heran, während das Kalkammonphosphat seine Position nicht verbessern konnte.

Die Phosphorsäureaufnahme und die Blatterträge lagen in entsprechenden Versuchsgliedern bei der Frühjahrsanwendung fast allgemein etwas höher als beim Unterpflügen der Phosphorsäure im Herbst. Der Wurzelertrag erfuhr durch das Einpflügen der gesamten Phosphorsäuregabe keine sichere und eindeutige Beeinflussung.

Die Unterlassung des sofortigen Eineggens der Phosphorsäure hatte ebenfalls keine wesentlichen Auswirkungen zur Folge. Daß aber die durch die Arbeiten von Gericke (9), Roemer (10, 11) und Kertscher (12, 13) stärker in den Vordergrund gerückte Frage der Verteilung der Phosphorsäure im Boden auch in Lauchstädt eine Rolle spielen kann, zeigt ein im Jahre 1937 zu Winterweizen durchgeführter Versuch, der sich mit diesem Problem eingehender befaßt. Wie in dem obigen Zuckerrübenversuch kam auch beim Weizen dem Eineggen bzw. Unterpflügen der gesamten Gabe keine große Bedeutung zu. Dagegen wurden durch Eingrubbern bzw. eine Kombination von Einpflügen und Eineggen je einer halben Gabe sichere Mehrerträge erzielt.

Abhängigkeit der Wirkung der Phosphorsäure von der Art ihrer Einbringung in den Boden.

Boden: Humoser Lößlehm. Seit 1922 nicht mit Stallmist gedüngt.

pH (KCl): 7,68.
Phosphorsäuretestzahl: 3,3 } im Bikarbonatauszug
mg K_2O/100 g Boden: 1,0 } nach Dirks-Scheffer.
Versuchsfrucht: Winterweizen (Heine II). Vorfrucht: Kartoffeln.
Aussaat: 31. Oktober 36. 200 kg/ha. Ernte: 22. Juli 37.
Düngung:
50 kg/ha N als schwefelsaures Ammoniak am 21. Oktober 36.
70 kg/ha P_2O_5 als Superphosphat gemäß Versuchsplan.
100 kg/ha K_2O als 40er Kali am 21. Oktober 36.

Die Bodenbearbeitung sämtlicher Teilstücke war absolut die gleiche. Die einzelnen Versuchsglieder unterscheiden sich nur dadurch, daß die Phosphorsäure an verschiedenen Stellen des Arbeitsganges gegeben wurde.
Zahl der Wiederholungen: 4.

	Körner			Stroh		Körner + Stroh
	dz/ha	m%	P_2O_5 kg/ha	dz/ha	P_2O_5 kg/ha	P_2O_5 kg/ha
Ohne Phosphorsäure . . .	30,42	4,29	24,43	43,58	4,61	29,04
P_2O_5 eingepflügt (6. 10. 36) .	32,52	2,53	25,79	45,88	3,51	29,30
„ eingegrubbert (29.10.36)	34,26	2,70	27,58	49,36	5,94	33,52
„ eingeeggt (31. 10. 36) .	32,42	1,58	26,35	45,65	5,38	31,73
„ halbe Gabe eingepflügt „ halbe Gabe eingeeggt	34,50	2,63	28,25	48,18	5,10	33,35
„ als Kopfdünger (5.12.36)	31,73	1,49	26,01	44,00	5,64	31,65

Die Verteilung der Nährstoffe im Boden wurde durch die Untersuchung von Schichtproben nach der Keimpflanzenmethode kontrolliert. Die Phosphorsäure war in allen Versuchsgliedern im Herbst gegeben worden. Im Frühjahr nach Erwachen der Vegetation (15. April 1937) erfolgte die Entnahme der Bodenproben in der von Kertscher angegebenen Art. Die vom Landwirtschaftlichen Untersuchungsamt Halle durchgeführten Untersuchungen brachten folgende Befunde:

mg Phosphorsäure in 100 g Boden nach Neubauer-Schneider.

Bodenschicht von cm	Ohne P_2O_5	P_2O_5 eingepflügt	P_2O_5 eingegrubbert	P_2O_5 eingeeggt	P_2O_5 ½ eingepflügt ½ eingeeggt	P_2O_5 als Kopfdünger
0—5	2,60	2,69	6,30	8,02	6,47	7,53
5—10	3,33	3,42	4,57	3,32	6,67	2,22
10—15	4,32	0,76	4,86	3,85	5,13	2,13
15—20	2,06	2,38	2,54	3,97	5,39	3,81
20—25	0,68	0,34	3,99	3,53	2,95	2,81
25—30	Spur	1,58	3,56	4,20	1,06	4,05

Die höheren Erträge und Phosphorsäureaufnahmen beim Eingrubbern bzw. der Kombination von Einpflügen und Eineggen finden somit eine befriedigende Erklärung durch die bessere Anreicherung der unter dem Pflug befindlichen Ackerkrume mit wurzellöslicher Phosphorsäure. Bei der Kopfdüngung

und beim Eineggen ist nur die oberste Schicht, diese allerdings dafür um so stärker, mit Phosphorsäure versorgt worden. Beim Einpflügen der gesamten Gabe ist offenbar zu viel Phosphorsäure in den tieferen Schichten festgelegt worden.

So gut die Werte der Oberkrume mit den Ergebnissen des Feldversuches übereinstimmen, so fragwürdig erscheinen die im Untergrund gefundenen Zahlen. Es erscheint widersinnig, daß ausgerechnet die Kopfdüngung und das Eineggen wurzellösliche Phosphorsäure in den tieferen Schichten des Lößlehmes anreichern sollte, während das Einpflügen hier kaum einen Einfluß ausgeübt hat. In dem Versuchsglied: „Ohne Phosphorsäure" fallen die Werte an der Pflugsohle steil ab. Dieser Befund dürfte die tatsächlichen Verhältnisse treffend charakterisieren, wie auch aus einer Reihe anderer Untersuchungen des Schlages hervorgeht. Die in einzelnen Teilstücken auftretenden Abweichungen hiervon dürften rein zufälliger Natur sein und mit der Fragestellung des Versuches nicht in Zusammenhang stehen. Sie können dadurch bedingt sein, daß die Pflugsohle nicht überall vollkommen regelmäßig verläuft, bzw. daß die Entnahme der Schichtproben bei den einzelnen Bodeneinschlägen nicht vollkommen die gleiche Tiefe erfaßt hat.

Die Ergebnisse des Versuches und der Untersuchungen zeigen, daß eine tiefere Unterbringung der Phosphorsäure nicht nur auf dem Grünland, sondern auch auf phosphorsäurearmen Ackerschlägen von Bedeutung sein kann. Sie warnen gleichzeitig davor, ins Extrem zu verfallen und etwa überall die gesamte Phosphorsäuredüngung einzupflügen.

Der im Jahre 1933 zu Winterweizen begonnene, im Jahre 1934 zu Zuckerrüben weitergeführte Phosphorsäureformenversuch lief 1935 abschließend zu Sommergerste.

Phosphorsäureformenversuch zu Sommergerste 1935.

Düngung 1935:
36 kg/ha P_2O_5 gemäß Versuchsplan.
80 kg/ha K_2O als 40er Kalisalz.
30 kg/ha N als schwefelsaures Ammoniak.
Beim Kalkammonphosphat wurde entsprechend seinen Stickstoffgehalt weniger schwefelsaures Ammoniak gegeben. Die Hauptmenge des Stickstoffes wurde am 28. 3. verabfolgt, der dem N-Gehalt des Kalkammonphosphates entsprechende Anteil jeweils bei Verabfolgung der Phosphorsäure.

Aussaat: 4. April 35. 130 kg/ha Heines Hanna. Ernte: 17. Juli 35.

Am 23. März 35 wurden aus der Gruppe IIb) Bodenproben gezogen und nach Dirks-Scheffer im Bikarbonatauszug untersucht:

Düngung	Phosphorsäuretestzahl in der Krume
Ohne Phosphorsäure	2,5
Superphosphat	3,5
Rhenaniaphosphat	3,5
Kalkammonphosphat	3,3

Auch in diesen Zahlen tritt noch die in den Jahren vorher zugeführte Phosphorsäure in Erscheinung.

Erträge:

	Körner (bei 14 % H_2O)				Stroh (bei 14 % H_2O)			Körner + Stroh
			Phosphorsäure			Phorphorsäure		Phosphorsäure
	dz/ha	m %	%	kg/ha	dz/ha	%	kg/ha	kg/ha
Ohne Phosphorsäure	24,76	2,10	*)	*)	25,23	0,128	3,23	
I. Phosphorsäure im Winter (am 19. 2. 35) auf rauhe Furche gegeben.								
Superphosphat	26,84	1,77	0,747	20,06	25,54	0,108	2,74	22,83
Rhenaniaphosphat	26,95	0,93	0,789	21,26	24,32	0,095	2,32	23,58
Thomasmehl	26,76	2,16	0,780	20,87	24,08	0,100	2,40	23,27
Kalkammonphosphat	26,36	1,78	0,764	20,13	24,75	0,118	2,92	23,05
II. Phosphorsäure im Frühjahr gegeben. a) Vor der Saat (am 28. 3. 35) sofort eingeeggt.								
Superphosphat	27,40	0,71	0,797	21,84	24,51	0,111	2,72	24,56
Rhenaniaphosphat	26,85	1,55	0,784	21,06	25,67	0,098	2,52	23,58
Thomasmehl	26,62	0,50	0,765	20,38	26,45	0,107	2,82	23,20
Kalkammonphosphat	25,23	1,76	0,759	19,14	24,27	0,122	2,96	22,10
b) Nach der Saat (am 8. 4. 35) erst mit den Pflegearbeiten (Maschinenhacke am 13. 5. 35) in den Boden eingebracht.								
Superphosphat	26,80	1,22	0,800	21,44	25,59	0,115	2,95	24,39
Rhenaniaphosphat	26,11	1,97	0,789	20,62	24,44	0,087	2,12	22,74
Thomasmehl	24,52	0,97	0,752	18,43	23,20	0,130	3,01	21,44
Kalkammonphosphat	24,61	2,54	0,749	18,43	23,61	0,130	3,07	21,50

*) Nicht untersucht, da die entsprechende Probe verloren gegangen ist.

Die im Winter auf die rauhe Furche gegebene Phosphorsäure hat den Kornertrag der Sommergerste um etwa 2 dz/ha (8 %) gesteigert. Zwischen den einzelnen Phosphorsäureformen bestanden hier sowohl hinsichtlich der Erträge als auch hinsichtlich der Entzugszahlen keine nennenswerten Unterschiede.

Wenn die Phosphorsäure im Frühjahr vor der Saat gegeben wurde, so bewegten sich die durch Rhenaniaphosphat und Thomasmehl erzielten Erträge und Phosphorsäureaufnahmen der oberirdischen Pflanzenteile auf der gleichen Höhe wie bei der Februargabe. Das Superphosphat vermochte unter diesen Umständen eine höhere Phosphorsäureaufnahme zu erzielen, das Kalkammonphosphat blieb etwas zurück.

In der Gruppe: IIb) „Phosphorsäure als Kopfdünger nach der Saat gegeben, erst einen Monat später mit den Pflegearbeiten in den Boden eingebracht“ konnte die leichtaufnehmbare Phosphorsäure des Superphosphates und Rhenaniaphosphates noch eine nur wenig geringere Wirkung ausüben als bei der Anwendung: „Vor der Saat, sofort eingeeggt“. Thomasmehl und Kalkammonphosphat dagegen brachten unter diesen Bedingungen keine höheren Erträge mehr als die nicht mit Phosphorsäure gedüngten Teilstücke.

Zusammenstellung der 1933—35 in den einzelnen Gruppen erzielten Phosphorsäureaufnahmen.

	1933 P_2O_5 kg/ha	1934 P_2O_5 kg/ha	1935 P_2O_5 kg/ha	33—35 P_2O_5 kg/ha	33—35 relativ Superphosphat = 100
I. Phosphorsäure im Herbst bzw. Winter verabfolgt.					
Superphosphat . .	32,19	29,52	22,83	84,54	100
Rhenaniaphosphat .	32,65	29,89	23,58	86,12	101,9
Thomasmehl . . .	33,12	24,88	23,27	81,27	96,1
Kalkammonphosphat	33,46	23,96	23,05	80,47	95,2
II. a) Phosphorsäure im Frühjahr gegeben, sofort eingeeggt.					
Superphosphat . .	33,66	31,13	24,56	89,35	100
Rhenaniaphosphat .	33,66	30,52	23,58	87,76	98,2
Thomasmehl . . .	34,53	28,22	23,20	85,95	96,2
Kalkammonphosphat	33,89	28,59	22,10	84,58	94,7
II. b) Phosphorsäure im Frühjahr gegeben, nicht sofort eingeeggt, sondern erst mit den Pflege- bzw. Bestellungsarbeiten in den Boden gebracht.					
Superphosphat . .	33,39	28,71	24,39	86,49	100
Rhenaniaphosphat .	31,34	31,20	22,74	85,28	98,6
Thomasmehl . . .	33,72	27,32	21,44	82,48	95,4
Kalkammonphosphat	32,93	26,01	21,50	80,44	93,0

Wenn auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Phosphorsäureformen im Feldversuch zu gering waren, um allen Forderungen der Fehlerwahrscheinlichkeitsrechnung zu genügen, so ist doch bemerkenswert, wie außerordentlich gut die Relativzahlen der Phosphorsäureaufnahmen in den verschiedenen Gruppen unabhängig von dem Zeitpunkt und der Art der Anwendung übereinstimmen. Grundsätzlich wurde also durch den Feldversuch bestätigt, daß die Phosphorsäure des Kalkammonphosphates auf dem Lauchstädter Lößlehm schwerer aufgenommen wird als diejenige des Super-, Rhenaniaphosphates und Thomasmehles.

II. Versuche auf saurem Sandboden aus Brandis (Kreis Schweinitz).

Das Kalkammonphosphat unterscheidet sich vom Ammonsuperphosphat nicht nur in den Löslichkeitsverhältnissen, sondern auch durch seinen geringeren Säureballast. Die Reaktion des Kamp I ist nach Kappen (3) weniger physiologisch sauer als die eines entsprechenden Gemisches von Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak. Zur Ergänzung der Versuche auf neutralalkalischem Lößlehm wurden deshalb von uns Gefäßversuche auf einem sauren Sandboden durchgeführt.

Gefäßversuch zu Sommergerste 1934.

Boden: Leichter Sandboden aus Brandis,
pH (KCl): 4,10. Austauschazidität: 2,0. Hydrolytische Azidität: 9,9.
Phosphorsäuretestzahl: 6 } im Wasserauszug
mg K_2O in 100 g Boden: 1,78 } nach Dirks-Scheffer.

Düngung je Gefäß: 6 kg Boden.

0,6 g N als schwefelsaures Ammoniak (Kalkammonphosphat entsprechend seinem N-Gehalt weniger Ammonsulfat).

2,0 g dreiteiliges Kaligemisch, bestehend aus 1 Teil Kaliumsulfat, 1 Teil Kaliumchlorid, 1/2 Teil Magnesiumsulfat.

0,6 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.

Dünger beim Ansatz am 18. April mit dem Boden vermischt.

Aussaat: 27. April 34. Aufgang: 2. Mai 34. Ernte: 28. Juli 34.

Zahl der Wiederholungen: 3.

Erträge.

	Körner			Stroh			Körner + Stroh			pH (KCl) nach Aberntung
	Tr.-Sub.	Phosphorsäure		Tr.-Sub.	Phosphorsäure		Tr.-Sub.		P_2O_5	
	g	%	g	g	%	g	g	m	g	
I. Ohne Kalk										
Ohne P_2O_5	1,2	*)		2,2	*)		3,4	0,12	*)	4,33
Superphosphat	6,6	0,873	0,058	8,1	0,184	0,015	14,7	3,49	0,073	4,41
Kamp I	12,2	0,762	0,093	12,8	0,138	0,018	25,0	1,48	0,111	4,62
Rhenaniaphosphat	21,1	0,818	0,173	23,9	0,133	0,032	44,9	2,28	0,205	4,66
Thomasmehl	20,2	0,929	0,188	24,7	0,191	0,047	44,9	1,89	0,235	4,83
II. Mit Kalk: 7 g Mischkalk (68,43 % CaO).										
Ohne P_2O_5	24,9	0,724	0,180	25,4	0,084	0,021	50,3	0,77	0,201	5,88
Superphosphat	21,4	0,929	0,199	25,5	0,167	0,043	46,9	0,86	0,242	6,00
Kamp I	21,6	0,795	0,172	24,7	0,094	0,023	46,4	0,86	0,195	6,20
Rhenaniaphosphat	23,0	0,929	0,214	28,4	0,141	0,040	51,4	0,56	0,254	6,31
Thomasmehl	23,5	0,891	0,209	24,9	0,138	0,034	48,4	0,53	0,243	6,32

*) Wegen Mangel an Substanz nicht untersucht.

In der Gruppe „Ohne Kalk“ gingen auf diesem stark versauerten Boden Erträge und Phosphorsäureaufnahmen weitgehend dem Kalkgehalt bzw. der physiologischen Reaktion der angewandten Düngung parallel. Thomasmehl und Rhenaniaphosphat wiesen einen beträchtlichen Vorsprung auf. Das Kalkammonphosphat war der Kombination von Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak überlegen, aber auch das Superphosphat hat die Erträge noch auf das vierfache der nicht mit Phosphorsäure gedüngten Gefäße erhöht.

Eine Kalkung hat die Unterschiede zwischen den einzelnen Phosphorsäureformen stark verwischt. Je besser der Phosphorsäuredünger in der Gruppe: „Ohne Kalk“ abgeschnitten hat, um so geringer war die durch den Kalk bewirkte Ertragssteigerung. Die durch die Phosphorsäuredüngung erzielten Mehrerträge dürften in allererster Linie auf die durch die Phosphorsäuredünger ausgelösten Reaktionswirkungen zurückzuführen sein. Die Erträge in der ungekalkten Reihe decken schärfer noch als

die Reaktionsmessungen nach der Ernte die Unterschiede auf, die in dieser Beziehung zwischen den einzelnen Phosphorsäureformen bestehen, sie geben infolge der hohen angewandten Gaben ein stark vergrößertes Bild der auf dem Feld praktisch möglichen Verhältnisse.

Die günstige Wirkung des Rhenaniaphosphates und Thomasmehles auf diesem sauren Boden ist bei ihrem relativ hohen Gehalt an basisch wirksamen Stoffen ohne weiteres verständlich. Kalkammonphosphat hat einen geringeren Säurerest als eine entsprechende Mischung von Ammonsulfat und Superphosphat. Die angeblich versauernde Wirkung des Superphosphates wird heute, wie unser Versuch wieder zeigt, mit Recht wohl allgemein ins Reich der Fabel verwiesen. Man kann dem Superphosphat theoretisch sogar nicht die Möglichkeit absprechen, durch Festlegung von giftigen Aluminiumionen indirekt den schädlichen Auswirkungen der Austauschsäure entgegenzuwirken.

Nach der Kalkung blieb die Ertragssteigerung durch die Phosphorsäuredünger völlig aus. Man kann hieraus zwar nicht ohne weiteres den Schluß ziehen, daß die Phosphorsäure in der ungekalkten Gruppe als Nährstoff überhaupt keine Rolle gespielt hat. Es wäre denkbar, daß der Kalk durch Mobilisierung von Phosphorsäure die Nährstoffverhältnisse in der Richtung verändert hat, daß ein ursprünglich vorhandener Mangel an wurzellöslicher Phosphorsäure nicht mehr zum Ausdruck kommen konnte. Der nach Dirks-Scheffer ermittelte Phosphorsäuregehalt des Bodens und die bei der Fortführung des Versuches zu dem weniger säureempfindlichen Hafer erhaltenen Ergebnisse bestärken uns jedoch in der Auffassung, daß die Nährstoffwirkung der Phosphorsäure auch in der ungekalkten Reihe nur eine sehr untergeordnete Rolle gespielt haben kann.

Fortsetzung des im Jahre 1934 mit Sommergerste durchgeführten Gefäßversuches auf saurem Sandboden zu Hafer 1935.

Düngung 1935 nach dem Umtopfen:
0,4 g N als schwefelsaures Ammoniak
0,6 g K_2O als Kainit } am 29. April 35.
0,4 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan
Aussaat: 11. Mai Aufgang: 20. Mai 35. Ernte: 12. August 35.
Zahl der Wiederholungen: 3.

Die Wirkung der Phosphorsäuredünger ist beim Hafer in der ungekalkten Gruppe sehr viel geringer als im Jahre vorher zu der Sommergerste. Die Kornerträge haben sogar durch sie überhaupt keine Erhöhung erfahren, wenn man in dem Versuchsglied: „Ohne Phosphorsäure" ein Gefäß bei der Verrechnung ausschaltet, das einen vollkommen aus dem Rahmen fallenden Wert lieferte. (Die mit *) bezeichnete obere Reihe gibt die Durchschnittszahlen von zwei gut übereinstimmenden Parallelen an.)

Ordnet man die einzelnen Phosphorsäureformen nach der Höhe der erzielten Erträge, so kommt man zu einer umgekehrten Reihenfolge wie bei der Gerste: Superphosphat und Kalk-

Trockensubstanzerträge.

	Körner			Stroh			Körner + Stroh		
		Phosphorsäure			Phosphorsäure				P_2O_5
	g	%	g	g	%	g	g	m	g
I. Ohne Kalk.									
Ohne P_2O_5	14,4*)	0,842	0,121	18,9*)	0,127	0,024	33,3*)		0,145
	11,4	0,842	0,096	17,3	0,127	0,022	28,6	5,52	0,118
Superphosphat	14,9	1,028	0,153	25,7	0,689	0,177	40,5	2,07	0,330
Kamp I	13,7	0,963	0,132	22,7	0,743	0,169	36,3	2,01	0,301
Rhenaniaphosphat	11,4	0,949	0,108	23,1	1,039	0,240	34,5	1,68	0,348
Thomasmehl	11,7	0,924	0,108	22,5	0,929	0,209	34,2	0,53	0,317
II. Mit Kalk. 1935: 3 g $CaCO_3$.									
Ohne P_2O_5	9,4	1,097	0,103	16,8	0,348	0,059	26,2	0,68	0,162
Superphosphat	12,2	1,000	0,122	21,3	0,491	0,105	33,5	1,30	0,227
Kamp I	13,1	1,062	0,139	19,7	0,296	0,058	32,8	1,21	0,197
Rhenaniaphosphat	14,3	1,033	0,148	21,4	0,525	0,112	35,7	0,83	0,260
Thomasmehl	14,9	1,045	0,156	22,3	0,470	0,105	37,2	0,92	0,261

ammonphosphat führen vor Thomasmehl und Rhenaniaphosphat. Bei dem säureresistenten Hafer konnte also der Einfluß der Phosphorsäuredünger auf die Bodenazidität nicht mehr zum Ausdruck kommen.

Die Kalkung führte unter diesen Umständen ebenfalls zu keiner Erhöhung der Erträge, in allen mit Phosphorsäure gedüngten Versuchsgliedern sogar zu einer starken Senkung der Phosphorsäureaufnahmen. Dabei war es interessant, daß der Phosphorsäuregehalt der Trockensubstanz nur beim Stroh, nicht dagegen bei den Körnern durch den Kalk herabgesetzt wurde. Der Kalk hat offenbar die Aufnahme der Düngerphosphorsäure durch die Pflanze erschwert, den Transport der aufgenommenen Phosphorsäure von den vegetativen Pflanzenteilen zu den Körnern eher gefördert als behindert. Es sei an dieser Stelle daran erinnert, daß die geringere Aufnehmbarkeit der Phosphorsäure des Kalkammonphosphates in den Gefäßversuchen auf Lauchstädter Lößlehm ebenfalls besonders in einem weit geringeren Phosphorsäuregehalt des Strohes zum Ausdruck kam.

Im Jahre 1936 wurde auf Brandiser Boden ein Versuch zu Sommergerste mit zwei verschieden hohen Düngungen durchgeführt. Einmal wurden die Nährstoffgaben praktisch möglichen Feldgaben einigermaßen angenähert, in einer zweiten Reihe dreimal so hohe Nährstoffmengen verabfolgt.

Gefäßversuche zu Sommergerste 1936.

Versuchspflanze: Sommergerste (Weihenstephaner mehltauresistente Züchtung).
Boden: Leichter Sand aus Brandis (Kreis Schweinitz).

pH (KCl): 4,35.
Phosphorsäuretestzahl: 8,0 } nach Dirks-Scheffer.
mg K_2O in 100 g Boden: 1,65 }

Düngung je Gefäß (6 kg Boden):

A) Schwächere Düngung:

0,3 g N*).

0,3 g K_2O als 40er Kali.

0,2 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.

*) Der Stickstoffausgleich geschah in folgender Weise: Die Versuchsglieder Superphosphat, Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und Stickstoffkalkphosphat erhielten die in der angewandten Menge Kalkammonphosphat enthaltene N-Gabe in Form von schwefelsaurem Ammoniak, den Rest als Ammonnitrat. Stickstoffkalkphosphat bekam eine seinem Stickstoffgehalt entsprechend geringere Ammonnitratgabe.

Trockensubstanzerträge.

	Körner			Stroh			Körner + Stroh		
		Phosphorsäure			Phosphorsäure				P_2O_5
	g	%	g	g	%	g	g	m	g
A. Schwächere Düngung. I. Ohne Kalk.									
Ohne P_2O_5	0,88	0,699	0,006	5,30	0,120	0,006	6,18	0,27	0,012
Superphosph.	2,60	0,526	0,014	6,95	0,100	0,007	9,55	0,36	0,021
Rhenania-phosphat	6,20	0,651	0,040	14,06	0,096	0,014	20,26	0,85	0,054
Thomasmehl	4,53	0,790	0,036	12,93	0,094	0,012	17,45	0,22	0,048
Kamp I	3,33	0,518	0,017	8,38	0,067	0,006	11,70	0,25	0,023
Stickstoff-kalkphosph.	4,05	0,569	0,023	8,53	0,071	0,006	12,58	0,44	0,029
II. Mit Kalk: 10 g $CaCO_3$ je Gefäß.									
Ohne P_2O_5	8,83	0,844	0,075	17,03	0,129	0,022	25,85	0,80	0,097
Superphosph.	8,80	0,917	0,081	17,55	0,188	0,033	26,35	1,16	0,114
Rhenania-phosphat	9,75	0,985	0,096	19,05	0,195	0,037	28,80	1,30	0,133
Thomasmehl	11,73	0,944	0,111	19,58	0,193	0,038	31,30	2,14	0,149
Kamp I	9,33	0,944	0,088	18,73	0,173	0,032	28,05	1,21	0,120
Stickstoff-kalkphosph.	8,88	0,956	0,085	19,20	0,156	0,030	28,08	0,31	0,115
B. Stärkere Düngung. I. Ohne Kalk.									
Ohne P_2O_5	0,45	*)		3,58	0,114	0,004	4,03	0,19	*)
Superphosph.	2,23	0,502	0,011	8,10	0,253	0,021	10,33	0,16	0,032
Rhenania-phosphat	10,03	1,115	0,112	27,55	0,222	0,061	37,58	0,56	0,173
Thomasmehl	8,90	1,240	0,110	26,55	0,235	0,062	35,45	1,18	0,172
Kamp I	5,73	1,037	0,059	14,80	0,285	0,042	20,53	1,06	0,101
Stickstoff-kalkphosph.	4,38	1,217	0,053	13,43	0,376	0,051	17,80	1,52	0,104
II. Mit Kalk: 10 g $CaCO_3$ je Gefäß.									
Ohne P_2O_5	13,10	0,780	0,102	23,88	0,204	0,049	36,98	1,43	0,151
Superphosph.	8,35	1,085	0,091	27,43	0,308	0,085	35,78	2,23	0,176
Rhenania-phosphat	15,35	0,902	0,139	31,65	0,215	0,068	47,00	3,58	0,207
Thomasmehl	9,28	0,982	0,091	29,63	0,253	0,075	38,90	2,79	0,166
Kamp I	8,73	0,824	0,072	24,95	0,270	0,067	33,68	1,80	0,139
Stickstoff-kalkphosph.	9,38	0,927	0,087	26,10	0,237	0,062	35,48	1,53	0,149

*) Nicht untersucht wegen Mangels an Substanz.

B) Stärkere Düngung:
0,9 g N.
0,9 g K_2O als 40er Kali.
0,6 g P_2O_5 gemäß Versuchsplan.
Düngung am 18. April 36 beim Ansatz mit dem Boden vermischt.
Aussaat: 24. April 36. Aufgang: 1.—3. Mai 36. Ernte: 31. Juli 36.

Aziditätsmessungen des Bodens nach der Aberntung des Versuches.

	A) Schwächere Düngung			B) Stärkere Düngung		
	pH (KCl)	Austauschazidität yl	Hydrolyt. Azydität yl	pH (KCl)	Austauschazidität yl	Hydrolyt. Azidität yl
I. Ohne Kalk.						
Ohne Phosphorsäure	4,08	1,90	12,58	4,19	1,65	11,25
Superphosphat	4,09	1,70	12,80	4,22	1,45	11,35
Rhenaniaphosphat	4,10	1,65	11,70	4,23	1,20	10,30
Kamp I	4,10	1,65	11,80	4,18	1,50	11,10
Stickstoffkalkphosphat	4,01	1,90	11,80	4,19	1,30	10,95
Thomasmehl	4,21	1,45	11,40	4,31	1,00	10,40
II. Mit Kalk						
Ohne Phosphorsäure	6,21		4,55	6,05		4,20
Superphosphat	6,21		4,40	5,77		4,70
Rhenaniaphosphat	6,39		4,10	6,18		4,45
Kamp I	6,16		4,40	5,88		5,00
Stickstoffkalkphosphat	6,08		4,90	6,14		4,80
Thomasmehl	6,35		4,40	6,38		4,25

Die Wirkung der Phosphorsäuredünger auf die Aziditätsverhältnisse des Bodens kam in den nach der Aberntung des Versuches vorgenommenen Bodenuntersuchungen nicht so eindeutig zum Ausdruck wie in dem Versuch 1934. Immerhin waren in den stärker gedüngten Versuchsreihen Wasserstoffionenkonzentration und Titrationsazidität beim Thomasmehl und Rhenaniaphosphat erwartungsgemäß geringer als bei den anderen Phosphorsäureformen.

Merkwürdig erscheint es, daß die Bodenversauerung in dem Versuchsglied: Superphosphat „Ohne Kalk" bei der stärkeren Düngung etwas geringer war als bei der schwächeren, während in der Gruppe: „Mit Kalk" die Verhältnisse gerade umgekehrt lagen. Eigentlich hätte man erwartet, daß eine Verdreifachung der in ihrer Gesamtheit ausgesprochen sauren Düngung (schwefelsaures Ammoniak, Superphosphat und 40er Kalisalz) in jedem Falle eine Erhöhung der Bodenazidität hätte zur Folge haben müssen. Kann das Superphosphat auf austauschsauren Böden unter Umständen eine gewisse „entsäuernde" Wirkung ausüben? Zu dieser Frage wird man auch gedrängt, wenn man pH-Zahlen und Austauschazidität der Versuchsglieder: „Ohne Phosphorsäure" und „Superphosphat" in den ungekalkten Versuchsreihen miteinander vergleicht. In dem Gerstenversuch 1934

lagen die pH-Zahlen beim Superphosphat ebenfalls etwas höher als ohne Phosphorsäuredüngung. Wir vermuten, daß die wasserlösliche Phosphorsäure des Superphosphates auf dem austauschbaren Boden frei bewegliche Aluminium- und Eisenionen festgelegt und dadurch den Gehalt des Bodens an Salzen, die durch hydrolytische Aufspaltung stark sauer reagieren, verringert hat. Die höhere Ammonsulfatgabe aber vermochte nicht stärker versauernd in Erscheinung zu treten, da sie bei der gegebenen Reaktion von der Gerste nur unvollkommen physiologisch ausgenutzt werden konnte und das Nitrifikationsvermögen des Bodens stark gehemmt gewesen sein dürfte.

Wenn die Verstärkung der phosphorsäurefreien, aus Ammonsulfat und 40er Kalisalz bestehenden Düngung die Bodenversauerung ebenfalls nicht erhöht, sondern sogar vermindert hat, so muß man an die Ausführungen Kappens (14) denken: Durch Kalisalze kann zwar die Austauschazidität aktiviert und dadurch auf stark sauren Böden die Ernteschädigung vergrößert werden, die Bodenazidität als solche muß aber durch diesen Vorgang vermindert werden, da durch den Eintausch von Kalium in den Bodenkomplex sein Basengehalt aufgefüllt wird.

Die Ertragszahlen des Gerstenversuches 1936 bestätigten die Ergebnisse des Jahres 1934 weitgehend. In den nicht gekalkten Gruppen standen die wirksamen basischen Kalk enthaltenden Formen: Rhenaniaphosphat und Thomasmehl mit deutlichem Vorsprung an der Spitze. Kalkammonphosphat war dem Superphosphat überlegen. Das in diesen Versuch einbezogene Stickstoffkalkphosphat brachte praktisch die gleichen Erträge wie das Kalkammonphosphat.

Die Kalkung hat die Gesamterträge durchweg erhöht, am wenigsten wiederum bei den Düngern, die selbst schon über einen ansehnlichen Gehalt an basischem Kalk verfügen. Die relativen Unterschiede zwischen den durch die einzelnen Phosphorsäureformen erzielten Ernten wurden durch die Kalkung stark verringert. Immerhin brachten Rhenaniaphosphat und Thomasmehl auch in den Kalkreihen noch die absolut höchsten Erträge, offenbar deshalb, weil die Kalkgabe nicht ganz ausgereicht hatte, das Reaktionsoptimum der Gerste zu erzielen.

Die Phosphorsäureaufnahmen verliefen in den nicht gekalkten Reihen mit den durch die Dünger erzielten Erträgen und Reaktionswirkungen weitgehend parallel. Nach der Kalkung lagen sie im Durchschnitt der drei Versuche beim Kalkammonphosphat am niedrigsten und kaum höher als bei Unterlassung der Phosphorsäuredüngung. Sobald die Reaktionswirkungen der Dünger nicht mehr voll zum Ausdruck kommen konnten, hörte die Überlegenheit des Kalkammonphosphates über das Superphosphat auch auf dem Brandiser Sandboden auf. Das war selbst dann der Fall, wenn die Bodenazidität nicht durch eine Kalkung, sondern durch die Wahl einer weniger säureempfindlichen Pflanze (Hafer) in den Hintergrund gedrängt wurde. Rhenaniaphosphat und

Durchschnittsergebnisse der drei auf saurem Sandboden zu Sommergerste durchgeführten Gefäßversuche (1934, 1936 A, 1936 B).

A) Trockensubstanzerträge.

	Körner		Stroh		Körner + Stroh	
	g	relativ: Rhenania-phosphat = 100	g	relativ: Rhenania-phosphat = 100	g	relativ: Rhenania-phosphat = 100
I. Ohne Kalk.						
Ohne Phosphorsäure . .	0,84	6,8	3,69	16,9	4,54	13,3
Superphosphat	3,81	30,6	7,72	35,3	11,53	33,7
Kamp I	7,09	57,0	11,99	54,9	19,08	55,7
Rhenaniaphosphat . . .	12,44	100,0	21,84	100,0	34,25	100,0
Thomasmehl	11,21	90,1	21,39	97,9	32,60	95,2
II. Mit Kalk.						
Ohne Phosphorsäure . .	15,61	97,4	22,10	83,8	37,71	88,9
Superphosphat	12,85	80,2	23,49	89,1	36,34	85,7
Kamp I	13,22	82,5	22,79	86,4	36,04	85,0
Rhenaniaphosphat . . .	16,03	100,0	26,37	100,0	42,40	100,0
Thomasmehl	14,84	92,6	24,70	93,7	39,53	93,2

B) Phosphorsäureaufnahmen.

I. Ohne Kalk.						
Superphosphat	0,028	26,0	0,014	38,9	0,042	29,2
Kamp I	0,056	51,9	0,022	61,1	0,078	54,2
Rhenaniaphosphat . . .	0,108	100,0	0,036	100,0	0,144	100,0
Thomasmehl	0,111	102,8	0,040	111,1	0,152	105,6
II. Mit Kalk.						
Ohne Phosphorsäure . .	0,119	79,3	0,031	64,6	0,150	75,8
Superphosphat	0,124	82,7	0,054	112,5	0,177	89,4
Kamp I	0,111	74,0	0,041	85,4	0,151	76,3
Rhenaniaphosphat . . .	0,150	100,0	0,048	100,0	0,198	100,0
Thomasmehl	0,137	91,3	0,049	102,0	0,186	93,9

C) Mehrerträge gegenüber : Ohne Phosphorsäure.

I. Ohne Kalk.						
Superphosphat	2,97	25,6	4,03	22,2	6,99	23,5
Kamp I	6,25	53,9	8,30	45,7	14,54	48,9
Rhenaniaphosphat . . .	11,60	100,0	18,15	100,0	29,71	100,0
Thomasmehl	10,37	89,4	17,70	97,5	28,06	94,4
II. Mit Kalk.						
Superphosphat	— 2,76		1,39	32,6	— 1,37	—
Kamp I	— 2,39		0,69	16,1	— 1,67	—
Rhenaniaphosphat . . .	+ 0,42		4,27	100,0	+ 4,69	100,0
Thomasmehl	— 0,77		2,60	60,8	+ 1,82	38,8

Thomasmehl dagegen konnten auch unter diesen Bedingungen auf dem Brandiser Sand noch höhere Phosphorsäureaufnahmen erzielen als das Superphosphat.

Scharrer (15) führte, angeregt durch eine Arbeit von Åslander (16), auf saurem Boden eine Reihe von Gefäßversuchen mit steigender NPK-Düngung durch. Er äußert auf Grund der erhaltenen Ergebnisse die Meinung, daß auch auf stark sauren Böden säureempfindliche Pflanzen wie Gerste und Weizen ohne Kalkung zu ausgezeichneter Wirkung kommen und befriedigende Erträge bringen können, falls ihnen entsprechend hohe Nährstoffgaben zugeführt werden.

Die Ergebnisse unseres Versuches zu Sommergerste 1936 sprechen dafür, daß dieser Schluß zum mindesten einer Einschränkung bedarf. Wohl hat die Verdreifachung der Nährstoffgaben auch bei uns in der Mehrzahl der Fälle zu einer Erhöhung der Erträge geführt, aber das Ausmaß der durch sie bewirkten Ertragssteigerung steht in der Gruppe: „Ohne Kalk“ in eindeutiger Beziehung zu der physiologischen Reaktion der Düngung bzw. ihrem Gehalt an basisch wirksamem Kalk. Bei einer Düngung von Ammonsulfat, Superphosphat und 40er Kalisalz war die Verstärkung der Düngung sogar fast völlig wirkungslos. Der Quotient: Gesamtertrag bei dreifacher Düngung: Gesamtertrag bei einfacher Düngung veränderte sich in der ungekalkten Reihe bei Differenzierung der Phosphorsäureformen folgendermaßen:

Thomasmehl	2,03
Rhenaniaphosphat . .	1,85
Kamp I	1,75
Stickstoffkalkphosphat	1,41
Superphosphat . . .	1,08
Ohne Phosphorsäure	0,65

Wir möchten deshalb der Auffassung zuneigen, daß eine Verstärkung der Nährstoffgaben allein auf austauschsauren Böden ein befriedigendes Wachstum säureempfindlicher Pflanzen nicht ermöglichen kann, wenn nicht die angewandten Düngerformen in ihren Nebenwirkungen auf den Boden gewisse Voraussetzungen dafür bieten, daß die Bodensäure eine Herabsetzung erfährt bzw. daß giftige, durch die Bodensäure beweglich gemachte Ionen festgelegt werden. Im letzteren Sinne könnte allerdings bis zu einem gewissen Grade bereits die wasserlösliche Phosphorsäure an sich den schädlichen Auswirkungen der Bodensäure entgegentreten.

Die von Scharrer in seinen Versuchen angewandte Düngung, bestehend aus Harnstoff, NaH_2PO_4 und KCl, war von Nebenwirkungen auf die Bodenazidität keineswegs frei. Seinen eigenen Angaben entnehmen wir, daß die Austauschazidität zu Versuchsbeginn proportional zur Höhe der Düngung sogar recht stark abnahm. Auf jeden Fall haben also die höheren Düngergaben in bezug auf die Bodenazidität günstigere Startverhältnisse geschaffen. Wenn seine Aziditätsmessungen nach der Aberntung

keine entsäuernde Wirkung mehr erkennen ließen, so ist damit keineswegs bewiesen, daß eine solche nicht intermediär in entscheidenden Abschnitten des Wachstums stattgefunden hat. Auch die Bodenuntersuchungen nach der Ernte unserer Gefäßversuche zu Sommergerste gaben die in den Erträgen so überaus stark zum Ausdruck gekommene Kalkwirkung des Rhenaniaphosphates und Thomasmehles besonders im Jahre 1936 nur noch unvollkommen wieder. Das ist auch leicht erklärlich, denn mit den durch die basische Wirkung dieser Düngemittel erzielten wesentlich höheren Erträgen sind wieder entsprechend größere Mengen Basen dem Boden entzogen worden. Im übrigen kann die Untersuchung einer Durchschnittsprobe infolge der von Sekera (17) sehr schön demonstrierten Lokalisierung der Reaktionswirkungen überhaupt nur ein unvollkommenes Bild von den in der Nähe der Pflanzenwurzeln sich abspielenden Vorgängen geben.

Der Umstand, daß es Åslander (16) möglich war, in Wasserkulturversuchen bei einer sehr niedrigen pH-Zahl allein durch stärkere Nährstoffversorgung ein normales Pflanzenwachstum zu erzielen, während in unseren Versuchen die Verdreifachung der sauren Düngung auf natürlichem sauren Boden ohne Wirkung blieb, läßt die Frage offen, ob es die hohe Wasserstoffionenkonzentration des Bodens an sich oder die zu ihr in Beziehung stehende Gegenwart von giftigen Aluminiumionen war, die eine Ausnutzung der stärkeren, sauren Düngung hier verhinderte. Es wäre denkbar, daß die von Åslander und Scharrer behauptete Paralysierung von Säureschäden durch hohe Nährstoffgaben bei schwächeren Säuregraden, auf nicht mehr austauschbaren Böden, zutrifft. Eine gewisse Bestätigung für eine solche Auffassung kann man aus dem Vergleich der gekalkten Gruppen unseres Sommergerstenversuches 1936 herauslesen. Die Kalkung hat die Austauschazidität beseitigt, aber, wie die Reaktionsmessungen und eine gewisse Überlegenheit des kalkhaltigen Düngemittels zeigen, nicht voll ausgereicht, das Reaktionsoptimum für die Sommergerste zu erreichen. Unter diesen Verhältnissen wirkte sich die Erhöhung der aus schwefelsaurem Ammoniak, Superphosphat und 40er Kali bestehenden Düngung trotz stärker versauernder Wirkung ertragsmäßig günstiger aus als der Ersatz des Superphosphates in der schwächeren Düngung durch alkalische Phosphate wie Thomasmehl und Rhenaniaphosphat. Unter gleichen Voraussetzungen (bei gleichen Nährstoffgaben) aber brachten die basisch wirksamen Kalk enthaltenden Phosphate auch bei der starken Düngung immer noch die absolut höchsten Erträge, ein weiterer Hinweis dafür, daß auch eine hohe Nährstoffversorgung die Kalkdüngung nicht überflüssig macht. Wir stimmen mit den oben genannten beiden Forschern durchaus darin überein, daß mit der Versauerung zumeist eine starke Nährstoffverarmung der Böden einhergeht und daß deshalb der Nährstoffversorgung hier ganz besondere Bedeutung zukommt. Eine hohe Nährstoffversorgung ist aber ebensowenig wie eine

Kalkung allein in der Lage, die Erzeugungsreserven unserer sauren Böden voll zu mobilisieren. Beide müssen harmonisch Hand in Hand arbeiten.

Zusammenfassung.

1. In dreijährigen Gefäßversuchen zu Hafer auf neutral-alkalischem, humosen Lößlehm vermochte das Scheiblersche Kalkammonphosphat (Kamp I) die Phosphorsäurewirkung der in den Vergleich einbezogenen Phosphate nicht zu erreichen. Es wurden folgende relative Mehrerträge (Superphosphat = 100) erzielt:

	Körner	Stroh	Gesamtertrag
Superphosphat	100	100	100
Thomasmehl	76,6	87,2	82,3
Kalkammonphosphat	71,8	57,4	64,0

2. Noch stärker als die Erträge blieben die Phosphorsäureaufnahmen der oberirdischen Pflanzenteile beim Kalkammonphosphat zurück.

	Phosphorsäureausnutzung %
Superphosphat	39,0
Thomasmehl	31,0
Kalkammonphosphat	15,8

3. Die physiologisch saure Reaktion eines Düngers braucht nicht immer ein Nachteil zu sein, sie kann auf neutral-alkalischen Böden durch Mobilisierung von Nährstoffen unter Umständen gewisse günstige Wirkungen auf die Erträge ausüben. Die Gegenüberstellung der Kalksalpeter- und Ammonsulfatgruppen des Lauchstädter statischen Versuches zeigt, daß hier in dem Phosphorsäuremangelteilstück das saure Ammoniaksalz mit seinem Aufschlußvermögen für die Bodenphosphorsäure besser abgeschnitten hat.

4. Wenn in den Gefäßversuchen auf Lauchstädter Lößlehm das Kalkammonphosphat eine erheblich geringere Phosphorsäurewirkung zeigt als ein im Nährstoffgehalt entsprechendes Gemisch von Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak, so wird der Grund dafür in erster Linie darin zu suchen sein, daß das Kalkammonphosphat mit Wasser nicht nur in Di-, sondern auch in Trikalziumphosphat zerfällt. Man wird aber ferner im Hinblick auf die angeführten Ergebnisse des statischen Versuches daran denken müssen, daß das Kalkammonphosphat eine weniger saure physiologische Reaktion und somit ein geringeres Aufschlußvermögen für Phosphorsäure hat als eine Kombination von Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak.

5. In Feldversuchen sprach ein seit 1922 nicht mit Stallmist gedüngter und an Phosphorsäure ausgehungerter Schlag in

Lauchstädt auf die Phosphorsäuredüngung nur schwach und unsicher an, trotzdem der Gehalt an leichtlöslicher Phosphorsäure nach der Bodenuntersuchung (Neubauer-Schneider und Dirks-Scheffer) gering war. Es konnte durch Bodenuntersuchungen und Versuche mit steigenden Phosphorsäuregaben der Nachweis erbracht werden, daß hieran nicht etwa eine zu starke Festlegung der Düngerphosphorsäure durch den Boden die Schuld trug. Der Schwarzerdecharakter besitzende humose Lauchstädter Lößlehm vermag offenbar selbst nach mehr als zehnjährigem Raubbau bei geeigneter Witterung aus dem schwer löslichen Bodenvorrat noch soviel Phosphorsäure nachzuliefern, daß Pflanzen mit nicht allzu hohem Spitzenbedarf damit auskommen können.

6. Die herrschende Auffassung, daß auf besseren Böden eine Überdüngung mit Phosphorsäure praktisch nicht in Erscheinung tritt, trifft für Lauchstädter Verhältnisse nicht immer zu. In Steigerungsversuchen wurden durch höhere Phosphorsäuregaben in Form von Nitrophoska und Superphosphat gewisse Ertragsdepressionen bei Zuckerrüben und Kartoffeln beobachtet, die auf einen zu frühen Abschluß des Wachstums zurückgeführt werden.

7. Fehlerkritisch gesehen reichen infolge der an sich nur schwach in Erscheinung tretenden Phosphorsäurewirkung die in den Feldversuchen erzielten Unterschiede nicht aus, um eine sichere Bewertung der geprüften Phosphorsäureformen vorzunehmen. Grundsätzlich wurde die mittels der Gefäßversuche gewonnene Erkenntnis bestätigt, daß die Phosphorsäure des Superphosphates auf dem Lauchstädter Lößlehm leichter aufgenommen wird als diejenige des Thomasmehles und Kalkammonphosphates. Auch die Erträge lagen zumeist beim Kalkammonphosphat etwas niedriger. Auf ausgesprochen phosphorsäurebedürftigen Böden dürfte somit unter Lauchstädter Standortsverhältnissen das Superphosphat und Rhenaniaphosphat den Vorzug verdienen, besonders dann, wenn man erst spät zur Düngung kommt. Anderseits kann aus dem Umstande, daß selbst auf einem seit 1922 systematisch ausgeraubten Schlage die Unterschiede zwischen der Wirkung der verschiedenen Phosphorsäuredünger auf die Erträge nur verhältnismäßig gering waren, der Schluß gezogen werden, daß man hier auf normal bewirtschafteten Äckern und bei rechtzeitiger Anwendung in der Auswahl der Phosphorsäureformen weitgehend freie Hand hat.

8. Sowohl das Eineggen als auch das Einpflügen der gesamten zur Anwendung kommenden Phosphorsäuredüngung hatte eine unvollkommene Verteilung der Phosphorsäure im Boden zur Folge. Durch Eingrubbern bzw. Eineggen und Einpflügen je einer halben Gabe wurde eine wesentlich bessere Anreicherung der für die Pflanzenernährung vorzugsweise in Frage kommenden unter dem Pflug befindlichen Krume mit wurzellöslicher Phosphorsäure erreicht, wie die Untersuchung von Schichtproben nach der Keimpflanzenmethode deutlich

zeigte. In Übereinstimmung hiermit befanden sich die im Jahre 1937 zu Winterweizen erzielten Erträge und Phosphorsäureaufnahmen.

9. In Gefäßversuchen auf stark versauertem Sandboden aus Brandis (Kreis Schweinitz) war das Kalkammonphosphat infolge seiner weniger sauren Reaktion einer Mischung von Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak deutlich überlegen, konnte aber die Wirkung von Rhenaniaphosphat und Thomasmehl nicht erreichen. Es wurden, Rhenaniaphosphat = 100 gesetzt, folgende relativen Mehrerträge erzielt:

	Körner	Stroh	Gesamtertrag
Superphosphat . . .	25,6	22,2	23,5
Kalkammonphosphat .	53,9	45,7	48,9
Rhenaniaphosphat . .	100,0	100,0	100,0
Thomasmehl	89,4	97,5	94,4

10. Wenn die Reaktionswirkungen der verabfolgten Düngung in den Hintergrund gedrängt wurden (durch Kalkung des Bodens bzw. Verwendung des weniger säureempfindlichen Hafers als Versuchspflanze), hörte die Überlegenheit des Kalkammonphosphates über das Superphosphat auch auf dem Brandiser Sandboden auf.

11. Das Sticktoffkalkphosphat brachte in zwei Gefäßversuchen zu Sommergerste auf Brandiser Sandboden ähnliche Erträge und Phosphorsäureaufnahmen wie das Kalkammonphosphat.

12. Es war im Gefäßversuch zu Sommergerste auf einem austauschsauren Boden nicht möglich, durch Zuführung erhöhter Gaben der Kernnährstoffe den Säureschäden wirksam entgegenzutreten, wenn nicht die physiologische Reaktion bzw. der Kalkgehalt der Düngung Voraussetzungen für eine Herabsetzung der Bodensäure und ihrer schädlichen Auswirkungen boten. Kalkung und Nährstoffversorgung müssen harmonisch Hand in Hand arbeiten, um die Erzeugungsreserven der sauren Böden voll zu mobilisieren.

Schrifttum.

1. Gerlach, M.: Angew. Chemie, Berlin, 1916, H. 3 u. 4.
2. Gerlach, M.: Kalkammonphosphat. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, B, **10**, 1931, 532--543.
3. Kappen, H., Th. Aymans, u. W. Hillkowitz: Untersuchungen über die Düngerwirkung von Kalkammonphosphat. Arch. Pflanzenbau, **7**, 1931, 272—308.
4. Schmitt, L.: Versuche über die Wirkung der Phosphorsäure in Kalkammonphosphat. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **8**, 1938, 1—25.
5. Lehmann, W.: Gefäßversuche zur Bewertung der Phosphorsäure in Kalkammonphosphat. Ebenda, **8**, 1938, 25—42.
6. Popp, M.· Gefäßdüngungsversuche über die Wirksamkeit und die Bewertung der Phosphorsäure im Kalkammonphosphat. Ebenda, **8**, 1938, 42—54.
7. Aereboe, F.: Neue Düngerwirtschaft ohne Auslandsphosphate. P. Parey, Berlin, 1932.

8. Behrens, W. U.: Die Methoden zur Bestimmung des Kali- und Phosphorsäurebedarfes landwirtschaftlich genutzter Böden. Verlag Chemie, Berlin, 1935.
9. Gericke, S.: Verteilung und Wirkung der Phosphorsäuredüngung. Die Phosphorsäure, Berlin, **4**, 1934, 79.
10. Roemer, Th., u. F. Scheffer: Ackerbaulehre. Paul Parey, Berlin, 1933.
11. Roemer, Th.: Der Einfluß der Phosphorsäure auf die Entwicklung der Wurzeln. D. Superphosphat, Berlin, **8**, 1932, 73.
12. Kertscher, F.: Dünge richtig! Mitt. Landw., Berlin, 1936, H. 43, 936.
13. Kertscher, F.: Zur Frage der Verteilung der Nährstoffe im Boden. Forschung für Volk- und Nahrungsfreiheit, Sonderh. 8 d. Forschungsdienstes, Berlin, 152—154.
14. Kappen, H.: Die Bodenazidität. Julius Springer, Berlin, 1929, 289—296.
15. Scharrer, K.: Der Einfluß der Nährstoffversorgung auf das Pflanzenwachstum bei hoher Bodenazidität. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **39**, 1935, 265—278.
16. Åslander, A.: Die Abhängigkeit unserer Kulturpflanzen von der Reaktion und dem Nährstoffgehalt des Bodens. Ebenda, A, **23**, 1932, 362—381.
17. Sekera, F.: Lokalisierte Wirkungen im Boden. Sonderh. 2 d. Forschungsdienstes, Berlin. [255]

Der Einfluß der Phosphorsäure auf den Stoffumsatz junger Haferpflanzen.

Von **W. U. Behrens.**

Aus der Landwirtschaftlichen Versuchsstation der Kali-Chemie A. G., Berlin-Niederschöneweide.

Eingegangen: 11. Januar 1939.

Seit den Zeiten Justus von Liebigs ist die Erkenntnis, daß ohne Phosphorsäure kein pflanzliches Leben möglich ist, Allgemeingut der Landwirtschaftswissenschaft geworden. Der praktische Landbau hat sich diese Erkenntnis zunutze gemacht und ist bestrebt, den Kulturpflanzen in Form von Handelsdüngern die Mengen Phosphorsäure zur Verfügung zu stellen, die der allmählich verarmende Boden nicht geben kann. Phosphorsäure ist nicht nur nötig, um die Höhe der Ernten zu sichern, sondern sie trägt auch dazu bei, daß Ernteprodukte von einwandfreier Qualität erzielt werden, und hat darüber hinaus, z. B. im Saatkartoffelbau und im Zuckerrübenbau, noch bestimmte Sonderwirkungen.

Es erhebt sich nun die Frage, wie die Phosphorsäure in den Stoffwechsel der Pflanze eingreift und zur Mehrerzeugung von Pflanzensubstanz und zur Verbesserung der Qualität beiträgt. Diese Frage ist noch selten gestellt worden. Wir kennen zwar eine Reihe phosphorhaltiger Verbindungen, die in den Pflanzen vorkommen, wie die Phosphatide, die Phosphatidsäuren, das Phytin, die Nukleoproteide, die Kohlehydrat-Phosphorsäure-Ester, wissen aber noch wenig, welche Bedeutung sie für den Stoffwechsel haben.

Bei den nachfolgenden Untersuchungen wurde von folgenden Grundsätzen ausgegangen:

1. Zunächst erschien es mir wichtig, mit jungen Pflanzen zu arbeiten, um zu entscheiden, welche Stoffwechselvorgänge primär von der Phosphorsäure beeinflußt werden.

2. Bisher wurde meist so verfahren, daß Pflanzen in Ver-

suchsmedien wuchsen, die von Anfang an verschieden stark mit Phosphorsäure gedüngt waren und nach einer bestimmten Zeit geerntet und auf ihren Gehalt an organischen Substanzen untersucht wurden. Hiergegen ist folgendes einzuwenden:

Die primären und sekundären Wirkungen des Mineralstoffs lassen sich bei der beschriebenen Art der Versuchsanstellung nicht auseinanderhalten. Wenn z. B. beim Fehlen eines Mineralstoffs die Blattbildung beeinträchtigt wird, so wird auch weniger Kohlensäure assimiliert, und es werden weniger Kohlehydrate gebildet. Der geringere Gehalt an Kohlehydraten kann dann zu dem Schluß führen, daß der Mineralstoff die Assimilation beeinflusse, während die geringere Assimilationstätigkeit vielleicht in Wirklichkeit die Folge einer anderen Blattbeschaffenheit ist.

1. Versuchsplan. Ich bin nun so vorgegangen, daß ich junge Pflanzen gezogen habe, die unter Mangel an Phosphorsäure litten, aber ausreichende Mengen an den anderen Nährstoffen erhalten hatten. Die Pflanzen wurden in verschiedene Serien eingeteilt;

Serie I erhielt keine Phosphorsäure und wurde zur Zeit t_1 geerntet.

Serie II erhielt ebenfalls keine Phosphorsäure und wurde zu der späteren Zeit t_2 geerntet.

Serie III erhielt zur Zeit t_1 eine Phosphorsäure-Kopfdüngung und wurde zur Zeit t_2 geerntet.

Die Pflanzen der Serien II und III unterscheiden sich nur durch die Phosphorsäurekopfdüngung. Da sie bis zur Zeit t_1 ohne Phosphorsäure geblieben sind, ist zu erwarten, daß der Einfluß der Phosphorsäuredüngung besonders deutlich zu Tage tritt und daß die primären Wirkungen der Phosphorsäure auf den Stoffwechsel der Pflanze erkannt werden.

Bei einem Teil der Versuche wurden noch zwei weitere Serien eingefügt. Serie IV erhielt wie Serie II keine Phosphorsäure, wurde aber erst zur Zeit t_3, einige Tage später als Serie II, geerntet. Serie V wurde wie Serie III behandelt, aber erst zur Zeit t_3 geerntet.

2. Anzucht der Pflanzen. Die Versuche erstreckten sich über drei Jahre. 1936 wurde nur die Wirkung der Phosphorsäuredüngung untersucht, 1937 die Wirkung der Phosphorsäure auf mit Nitrat- und mit Ammoniakstickstoff ernahrte Pflanzen, 1938 die Wirkung der Phosphorsäure im Vergleich mit der Wirkung anderer Mineralstoffe.

Als Versuchspflanze wurde stets Lochows Gelbhafer benutzt. Die Pflanzen wurden in Mitscherlich-Gefäßen gezogen, und zwar wurden je Gefäß 48 Körner eingesät.

Die Gefäße des Jahres 1936 wurden mit 6,6 kg Sand und 0,05 kg Torf gefüllt. Die Grunddüngung bestand aus 2,76 g Kalidüngesalz = 1,2 g K_2O, 3,33 g Kalksalpeter = 0,5 g N, 0,1 g Mangansulfat (Hydrat) und 0,1 g Ferrichlorid. Aussaat am 29. Juli. KN-Kopfdüngung (0,235 g K_2O + 0,245 g N als Kaliumnitrat und Ammonnitrat) am 26. August, die P-Kopfdüngung bestand aus Dinatriumphosphat, entsprechend 0,2 g P_2O_5; t_1 = 31. August; t_2 = 7. September; t_3 = 15. September.

Im Jahre 1937 diente ein Gemisch aus 1 kg Kalziumkarbonat-haltigem Boden (Polwitz) und 5,5 kg Sand als Vegetationsgrundlage. Als Grunddüngung wurden 2,76 g 40%iges Kalisalz, 0,1 g Mangansulfat und 0,1 g Eisenchlorid gegeben, ferner 1 g Stickstoff, rund 0,5 g vor der Saat, der Rest am 10. August

als Kopfdüngung. Serie A erhielt den Stickstoff als Ammonsulfat, Serie B als Kalksalpeter. Serie A erhielt außerdem 2 g Kalziumkarbonat. Als Phosphorsäure-Kopfdüngung wurde Dinatriumphosphat, entsprechend 0,2 g P_2O_5 gegeben. Aussaat am 24. Juli; t_1 = 18. August; t_2 = 26. August; t_3 = 2. September.

1938 wurden die Gefäße mit 6,5 kg Sand gefüllt. Als Grunddüngung wurden 2 g Kalziumkarbonat, 0,25 g Natriumchlorid, 0,05 g Mangansulfat und 0,05 g Ferrichlorid verabfolgt. Die Volldüngungsversuche erhielten ferner 0,2 g P_2O_5 als Dinatriumphosphat, 0,5 g K_2O als Kaliumsulfat, 0,5 g N vor der Saat und 0,4 g N auf den Kopf (22. April) als Ammonnitrat und 0,5 g Magnesiumsulfat (Heptahydrat). Die Gefäße „ohne Phosphorsäure" erhielten die Volldüngung ohne Phosphorsäure und entsprechend wurden die Gefäße „ohne Kali", „ohne Stickstoff" und „ohne Magnesia" gedüngt. Aussaat am 31. März, t_1 = 30. April; t_2 = 12. Mai.

Die geerntete Pflanzenmasse des Jahres 1936 wurde getrocknet, indem sie mit fester Kohlensäure zerrieben und in ein Vakuum gebracht wurde. Die Ernte des Jahres 1937 wurde im Trockenschrank bei etwa 70° getrocknet. Im Jahre 1938 wurde die Ernte zunächst mit fester Kohlensäure zerrieben, dann wurde im Trockenschrank getrocknet; die Pflanzen der Behandlungen: ohne Mg, mit Mg, Volldüngung; Ernte t_2, wurden direkt im Trockenschrank getrocknet.

3. Trockensubstanz. Die erzielten Trockensubstanzernten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Phosphorsäurekopfdüngung hatte in jedem der 3 Jahre zu beträchtlichen Ertragssteigerungen geführt. Hieraus folgt, daß die Pflanzen, die ohne Phosphorsäuredüngung geblieben waren, Phosphorsäuremangel litten.

Die Phosphorsäuremangelpflanzen des Jahres 1936 hatten zur Zeit t_1 4,1 g Trockenmasse, die Pflanzen des Jahres 1937 2,4 bzw. 2,9 g, die Pflanzen des Jahres 1938 1,63 g. Biologisch gesehen waren daher die 1937 zur Zeit t_1 geernteten Pflanzen jünger als die im Jahre 1936 zur Zeit t_1 geernteten Pflanzen und noch jünger waren die im Jahre 1938 zur Zeit t_1 geernteten Pflanzen.

Auch die Stickstoff- und die Kalikopfdüngung haben den Pflanzenertrag wesentlich gesteigert, die nicht mit diesen Nährstoff gedüngten Pflanzen haben daher erheblichen Mangel gelitten.

4. Kohlehydrate. 1 g trockenes Pflanzenmaterial wurde nach Kalziumkarbonatzusatz mit 20 ccm Wasser aufgeschwemmt und dreimal 5 Minute lang gekocht, nach dem 1. und 3. Kochen wurde eine ½ Stunde, nach dem 2. Kochen 12 Stunden stehen gelassen (O. Lehmann (1)). Nach Zusatz von 0,1 g Tierkohle wurde filtriert und ausgewaschen, bis die Waschflüssigkeit 100 ccm betrug. In einem aliquoten Teil dieser Lösung wurde der Gehalt an reduzierendem Zucker (Monosaccharid) nach Hagedorn-Jensen bestimmt. Ein anderer Teil der Lösung wurde mit soviel Salzsäure versetzt, bis die Lösung halbnormal war, und eine halbe Stunde bei 60° gehalten, dann wurde neutralisiert und durch eine neue Bestimmung des reduzierenden Zuckers der Gehalt an Monosaccharid + Disaccharid ermittelt. In Tabelle 1 sind die Gehalte an Monosaccharid, Disaccharid und Gesamt-Zucker, auf Glukose berechnet, angegeben.

Betrachten wir zunächst den Einfluß der P-Düngung auf den Gehalt der Pflanze an Gesamtzucker. In allen Jahren war der Gehalt der P-Mangelpflanzen bedeutend höher als der Gehalt der mit P gedüngten Pflanzen. So war im Jahre 1936 der Gehalt der P-Mangelpflanzen in dem Zeitintervall t_1—t_2—t_3 annähernd

Tabelle 1.

Jahr	N-Form	Erntetag	Düngung	Trockensubstanz g	Gehalt der Trockensubstanz an Monosaccharid %	Disaccharid %	Gesamt-Zucker %
1936		t_1	ohne P	4,1	8,3	13,5	21,8
		t_2	ohne P	5,2	10,5	9,9	20,4
		t_2	mit P	6,0	5,2	1,3	6,5
		t_3	ohne P	6,2	10,1	13,2	23,3
		t_3	mit P	8,0	11,4	1,9	13,3
1937	NH_4	t_1	ohne P	2,4	3,7	6,2	9,9
		t_2	ohne P	3,6	3,0	5,8	8,8
		t_2	mit P	4,8	2,0	0,5	2,5
		t_3	ohne P	3,8	2,9	4,0	6,9
		t_3	mit P	8,5	4,1	1,0	5,1
	NO_3	t_1	ohne P	2,9	3,6	8,7	12,3
		t_2	ohne P	4,1	4,1	6,5	10,6
		t_2	mit P	5,0	2,5	1,5	4,0
		t_3	ohne P	5,6	4,6	8,0	12,6
		t_3	mit P	7,9	5,3	3,5	8,8
1938		t_1	ohne P	1,63	6,7	2,9	9,6
		t_1	ohne K	1,79	7,8	0,7	8,5
		t_1	ohne N	0,90	7,2	3,5	10,7
		t_1	ohne Mg	3,28	5,8	1,1	6,9
		t_1	Volldüngung	2,95	6,9	1,1	8,0
		t_2	ohne P	3,05	9,6	9,7	19,3
		t_2	mit P	4,40	9,8	0,6	10,4
		t_2	ohne K	4,25	9,9	1,9	11,8
		t_2	mit K	5,75	5,3	4,8	10,1
		t_2	ohne N	1,62	6,3	1,6	7,9
		t_2	mit N	2,58	9,4	0,9	10,3
		t_2	ohne Mg	9,93	5,8	0,0	5,8
		t_2	mit Mg	10,00	5,6	0,8	6,4
		t_2	Volldüngung	10,05	4,9	0,4	5,3

konstant und betrug im Mittel 22%. Der Gehalt der Pflanzen, die zur Zeit t_1 Phosphorsäure erhalten hatten, fiel sehr stark, betrug im Zeitpunkt t_2 6,5% und stieg dann wieder etwas an (13,3% zur Zeit t_3), ohne indessen den Gehalt der P-Mangelpflanzen zu erreichen. Ganz ähnlich war der Verlauf im Jahre 1937, wenn auch die Gehalte absolut niedriger waren. 1938 war bei den zur Zeit t_1 geernteten P-Mangelpflanzen noch keine Zuckeranreicherung eingetreten, zur Zeit t_2 betrug der Gehalt der P-Mangelpflanzen 19,3% und der Gehalt der mit P gedüngten Pflanzen 10,4%.

Der Gehalt der Pflanzen an Monosaccharid hing ebenfalls

von der P-Düngung ab, und zwar war, in großer Linie gesehen, der Einfluß der P-Düngung auf den Monosaccharidgehalt ähnlich dem Einfluß auf den Gehalt an Gesamtzucker, wobei sich allerdings die unterschiedliche Düngung weniger stark geltend machte. Der Gehalt der P-Mangelpflanzen war in dem Zeitraum t_1—t_2—t_3 der Jahre 1936 und 1937 verhältnismäßig konstant. Die Untersuchung zeigte, daß die zur Zeit t_2 geernteten mit P gedüngten Pflanzen deutlich weniger Monosaccharid enthielten als die nicht mit P gedüngten Pflanzen. Der Gehalt der mit P gedüngten Pflanzen stieg dann wieder an, ähnlich dem Befund beim Gehalt an Gesamtzucker, übertraf jedoch im Gegensatz zu letzterem zur Zeit t_3 den Gehalt der P-Mangelpflanzen. 1938 war der Zeitraum t_1—t_2 länger als in den vorhergehenden Jahren, und es war kein Einfluß der P-Düngung auf den Gehalt an Monosaccharid festzustellen.

Der Gehalt an Disaccharid folgte den gleichen Regeln wie der Gehalt an Gesamtzucker, doch waren die Unterschiede noch stärker ausgeprägt. In all den Jahren betrug der Gehalt der P-Mangelpflanzen ein bedeutendes Vielfaches des Gehaltes der mit P gedüngten Pflanzen, im Maximum das 13fache.

Im Zusammenhang mit der Beobachtung, daß die Unterschiede verschieden gedüngter Pflanzen im Gehalt an Disaccharid größer waren als im Gehalt an Monosaccharid, wurde gefunden, daß die P-Mangelpflanzen mehr Disaccharid als Monosaccharid, die mit P gedüngten Pflanzen mehr Monosaccharid als Disaccharid enthielten.

Mangel an Stickstoff, Kali oder Magnesia beeinflußte den Zuckergehalt nicht in dem Maße wie Mangel an Phosphorsäure; es handelt sich hier somit um eine spezifische Wirkung der Phosphorsäure.

Bei Durchsicht des Schrifttums wurde folgendes festgestellt:

Eine Reihe von Autoren gibt an, daß P-arm ernährte Pflanzen einen höheren Gesamtzuckergehalt aufwiesen als genügend mit P ernährte Pflanzen. Mc. Gillivray (2) machte diese Feststellung an Tomatenpflanzen, besonders der Gehalt an Monosaccharid wurde durch P-Mangel erhöht. Eine Steigerung des Zuckergehaltes von Tomatenpflanzen wurde ferner von H. R. Kraybill (3) und von S. H. Eckerson (4) festgestellt. W. W. Jones (5) gibt an, daß die Blätter P-arm ernährter Weizenkeimlinge mehr Zucker enthalten haben als die Blätter P-reich ernährter Pflanzen, doch sind seine Ergebnisse nicht eindeutig. Ausgedehnte Untersuchungen an Gerstenblättern wurden von F. G. Gregory und E. C. D. Baptisse (6) durchgeführt. Die Verfasser kamen zu dem Ergebnis, daß P-Mangel den Gehalt an Gesamtzucker und an Monosaccharid steigert. Bei eingehender Betrachtung der Zahlen erkennt man, daß P-Mangel den Gesamtzuckergehalt der anfangs gebildeten Blätter senkt, jedoch den Gehalt der später gebildeten Blätter steigert. Der Gehalt an Disaccharid bewegt sich ähnlich dem Gehalt an Gesamtzucker, während der Gehalt an Monosaccharid durch P-Mangel fast stets gesteigert wird.

Im Gegensatz zu den genannten Ergebnissen stellten andere Versuchsansteller fest, daß P-Mangel den Gehalt der Pflanzen an Zucker herabsetzt. Hier sind Untersuchungen von A. Volk und E. Tiemann (7) an Tomatenblattsaft, von H. Böning und E. Böning-Seubert (8) an Tabakblattsaft, von A. R. C. Haas (9) an Zitronenstecklingen und von F. J. Richards (10) an Gerstenblättern zu nennen.

Die vorliegenden Versuche, in denen im Gegensatz zu den Versuchsanstellungen der genannten Autoren die Phosphorsäure auf den Kopf gegeben wurde, führten zu dem Ergebnis, daß P-Mangel die Gehalte an Disaccharid, Gesamtzucker und Monosaccharid steigert, P-Zufuhr folglich die Gehalte an Disaccharid, Gesamtzucker und Monosaccharid primär herabsetzt und den Gehalt an Monosaccharid nur sekundär erhöht. Zur Erklärung sei folgendes angeführt:

Es ist schon seit längerer Zeit bekannt, daß Phosphorsäure die Veratmung von Zucker durch Hefezellen fördert. Durch Auffindung von Phosphorsäureestern, die sich bei der Gärung als Zwischenprodukte bilden, konnte die Wirkung der Phosphorsäure chemisch gedeutet werden. Wir haben auch Anhaltspunkte dafür, daß die Phosphorsäure zur Veratmung von Zucker in den Zellen der höheren Pflanzen notwendig ist.

H. W. Barrenscheen und W. Albers (11) stellten fest, daß bei der Assimilation und Dissimilation von Elodea densa, Roggen und Weizen die Menge der organischen säurelöslichen Phosphor-Verbindungen erhöht wurde, was auf die Bildung von Kohlehydratphosphorsäureester schließen ließ. Arbeiten von H. W. Barrenscheen und J. Pany (12) stützten diese Ansicht. M. G. Rao (13) machte Versuche mit wässerigen Extrakten von Pisum sativum, die die pflanzlichen Enzyme enthielten, und fand bei Zusatz von Zucker, daß die Veratmung des Zuckers zeitlich mit der Veresterung anorganischen Phosphats zusammenfiel.

Fehlt es nun an Phosphorsäure, so kann der Zucker in der pflanzlichen Zelle nicht weiter verarbeitet werden und häuft sich dort an, wie durch meine Versuche gezeigt wurde. Besonders hoch ist der Gehalt der P-Mangelpflanzen an Disaccharid. Disaccharid (Rohrzucker) dürfte den jungen Haferpflanzen als Reservekohlehydrat dienen; Polysaccharid (Stärke) war nur in geringen Mengen vorhanden, wie durch Untersuchung festgestellt wurde. Die von der Pflanze nicht gebrauchte Kohlehydratmenge wurde in Disaccharid umgewandelt.

Nach Zusatz von Phosphorsäure wird der Stoffwechsel, der bis dahin fast geruht hatte, außerordentlich angeregt und die Pflanze greift auf die Kohlehydrate, insbesondere die Reservekohlehydrate, zurück. Die Reservekohlehydrate verschwinden fast völlig, während die Menge an Monosaccharid wohl eine Abnahme erleidet, aber nicht auf Null sinkt, da der Betriebsstoffwechsel die Gegenwart einer bestimmten Menge Kohlehydrat erforderlich macht. Nach Verbrauch der Reservekohlehydrate wird der laufende Kohlehydratbedarf durch Assimilation von Kohlensäure gedeckt und die rege Stoffwechseltätigkeit und die starke Assimilation bewirken im weiteren Verlauf eine Zunahme des Gehaltes an Monosaccharid.

Vergleicht man nun Pflanzen, die von Anfang an genügend Phosphorsäure erhalten haben, mit P-hungrigen Pflanzen, so findet man keine so einfachen Gesetzmäßigkeiten. Da die mit P gedüngten Pflanzen zwar mehr Kohlehydrate verbrauchen, aber auch mehr Kohlensäure assimilieren und mehr Kohlehydrate

erzeugen als die P-Mangelpflanzen, können sie unter bestimmten Versuchsbedingungen kohlehydratreicher sein.

Bei der üblichen Versuchsanstellung lassen sich somit die primären und sekundären Wirkungen des P-Mangels nicht auseinanderhalten, und es können keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden. In meinen Versuchen wurde durch P-Zufuhr der Gehalt an Monosaccharid nach etwa 1 Woche vermindert, nach etwa 2 Wochen erhöht; diese Beobachtung lehrt, daß die sekundären Wirkungen ziemlich schnell die primären überdecken können.

5. Stickstoffverbindungen. Zur Bestimmung des Gesamtstickstoffs wurde zur abgewogenen Pflanzensubstanz in einem Kjeldahl-Aufschlußkolben 40 ccm Wasser, 10 ccm Schwefelsäure 1 : 1 und 3 g Ferrum reductum gegeben, nach 10 Minuten wurde langsam erhitzt und 5 Minuten lang gekocht (G. W. Pucher (14)). Nach dem Erkalten wurde konzentrierte Schwefelsaure zugesetzt und der Stickstoff nach Kjeldahl bestimmt.

In der Masse, die nach dem Auswaschen mit Wasser zur Zuckerbestimmung auf dem Filter zurückgeblieben war, wurde der Gehalt an Stickstoff bestimmt (unlöslicher Stickstoff oder Eiweißstickstoff).

Eine neue Probe der Pflanzensubstanz von 1 g wurde mit 20 ccm Wasser zweimal aufgekocht, nach dem Erkalten wurde durch einen Filtertiegel filtriert. In 2 ccm des Filtrats wurde der α-Aminostickstoff nach van Slyke bestimmt, ein anderer Teil wurde mit 3 Volumen-% konzentrierter Schwefelsäure 2 Stunden lang auf 100° erhitzt, dann wurde neutralisiert und nach Zusatz von Magnesiumoxyd das Ammoniak in der Apparatur nach J. K. Parnas und A. Klisiecki (15) mit Wasserdampf bei 25 mm Druck in eine Vorlage mit bekannter Menge Säure überdestilliert und durch Titration bestimmt (Amidstickstoff + Ammoniakstickstoff).

Der Nitratstickstoff wurde nach Blom und Treschow unter Benutzung der Arbeitsvorschrift von F. Alten, B. Wandrowsky und E. Hille (16) bestimmt.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Stickstoffverbindungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Übereinstimmend wurde in den Versuchen der 3 Jahre gefunden, daß die P-Mangelpflanzen weniger Gesamtstickstoff enthielten als die mit P gedüngten Pflanzen.

Auch der Gehalt der P-Mangelpflanzen an unlöslichem Stickstoff (Eiweiß-Stickstoff) war niedriger als der Gehalt der mit P gedüngten Pflanzen. Der Anteil des Eiweißstickstoffes an Gesamtstickstoff wurde nicht eindeutig durch die Düngung beeinflußt; bei P-Mangel war der Anteil des Eiweißstickstoffes zum Teil etwas niedriger.

Bei den P-Mangelpflanzen lag besonders der Gehalt an Nitratstickstoff wesentlich tiefer als bei den mit P gedüngten Pflanzen. Während also bei P-Mangel die Gehalte an Gesamtstickstoff, Eiweißstickstoff und Nitratstickstoff besonders niedrig waren, waren die Gehalte an α-Aminosäurestickstoff und Amidstickstoff bei P-Mangel im allgemeinen etwas höher als bei P-Düngung, mit Ausnahme des Gehaltes an α-Aminosäurestickstoff im Jahre 1936.

Die Ergebnisse der Bestimmung der Stickstoffverbindungen überraschten mich, da auf Grund des Schrifttums in einigen Punkten ein anderer Sachverhalt zu erwarten war.

Tabelle 2.

Jahr	N-Form	Erntetag	Düngung	Gehalt der Trockensubstanz an Gesamt-N ‰	Eiweiß-N ‰	α-Aminosäure-N ‰	Amid-N ‰	Nitrat-N ‰
1936		t_1	ohne P	30,2	9,9	4,2	1,6	0,5
		t_2	ohne P	26,6	8,9	5,3	1,7	0,5
		t_2	mit P	39,6	12,8	5,8	1,6	2,3
		t_3	ohne P	23,3	7,2	3,4	1,6	0,4
		t_3	mit P	34,5	12,4	4,3	0,8	2,1
1937	NH_4	t_1	ohne P	45,5	26,1	6,8	3,9	0,6
		t_2	ohne P	37,9	19,9	11,1	6,0	0,6
		t_2	mit P	48,8	28,3	6,4	2,2	3,3
		t_3	ohne P	36,2	15,8	9,3	4,2	1,0
		t_3	mit P	39,9	26,0	4,3	1,1	1,6
	NH_3	t_1	ohne P	30,9	20,4	3,2	1,3	2,1
		t_2	ohne P	31,7	18,7	4,6	1,1	2,2
		t_2	mit P	46,4	27,2	3,8	1,0	3,5
		t_3	ohne P	28,9	15,4	5,0	1,9	2,2
		t_3	mit P	39,6	22,6	3,6	0,9	3,2
1938		t_1	ohne P	59,2	29,8	8,8		1,9
		t_1	ohne K	62,0	33,1	5,5		3,0
		t_1	ohne N	24,0	14,4			0,1
		t_1	ohne Mg	64,5	29,0	4,6		6,0
		t_1	Volldüngung	60,8	31,3	4,8		4,3
		t_2	ohne P	29,0	15,5	6,7		0,6
		t_2	mit P	57,2	25,2	4,8		3,8
		t_2	ohne K	57,5	28,2	3,2		2,6
		t_2	mit K	59,6	28,7	2,8		3,1
		t_2	ohne N	14,1	6,5	2,9		0,1
		t_2	mit N	58,8	25,4	4,1		3,4
		t_2	ohne Mg	57,7	33,0	3,1		2,8
		t_2	mit Mg	58,4	33,6	4,5		3,2
		t_2	Volldüngung	58,3	33,2	5,2		3,2

In fast allen mir bekannten einschlägigen Untersuchungen anderer Autoren wird berichtet, daß in P-Mangel-Pflanzen eine beträchtliche Anhäufung von Nitratstickstoff stattfindet. Es sei hier auf die Arbeiten von Mc. Gillivray (2), H. R. Kraybill (3), S. H. Ekkerson (4), Th. W. Turtschin (17), R. L. Carolus (18) hingewiesen. F. J. Richards und W. G. Templeman (19) stellten in ausgedehnten Versuchsreihen fest, daß P-Mangel nur geringen Einfluß auf die Höhe des Nitratgehaltes hatte und nur bei spät gebildeten Blättern zu einer Erhöhung des Nitratgehaltes führte.

Eckerson (4) und Turtschin (17) erblicken eine wichtige Funktion der Phosphorsäure gerade darin, daß nur in ihrer Gegenwart eine Reduktion und damit Nutzbarmachung des Nitrat-Stickstoffs erfolgen könne. Bereits F. J. Richards und W. S. Templeman (19) haben auf Grund ihrer Versuchsergebnisse die Hypothese von Eckerson abgelehnt.

Auch meine Versuche stehen im völligen Widerspruch zu dieser Hypothese. Neuerdings stellte B. P. Waltner (20) fest, daß P-Mangel-Pflanzen Nitrat stärker reduzieren als Volldüngungspflanzen, ein Befund, der ebenfalls in Widerspruch mit der Hypothese von Eckerson steht.

Auf Grund des vorliegenden Versuchsmaterials kann folgende Erklärung über den Einfluß der Phosphorsäure auf den Stickstoffumsatz gegeben werden:

Die P-arm ernährten Pflanzen sind reich an Kohlehydraten, aber arm an verfügbaren Kohlehydraten. Es werden nun sowohl bei der Eiweißbildung als auch bei der Nährstoffaufnahme Kohlehydrate verbraucht. Bei P-Mangel müssen daher sowohl die Nährstoffaufnahme als auch die Eiweißbildung gehemmt werden.

Daß P-Mangel die Stickstoffaufnahme hemmt, konnte durch meine Versuche einwandfrei nachgewiesen werden. Der Nachweis wurde durch Benutzung einer Versuchsmethodik erbracht, bei der die Phosphorsäure als Kopfdüngung einige Tage vor der Ernte gegeben wurde.

Die auf die Einheit Trockensubstanz gebildete Eiweißmenge war auch in meinen Versuchen bei den P-Mangelpflanzen bedeutend niedriger als bei den mit P gedüngten, doch läßt sich aus diesen Versuchen allein noch nicht folgern, daß die Eiweißbildung durch P-Mangel gehemmt wird, denn die P-Mangelpflanzen enthielten, auf die Einheit Trockensubstanz bezogen, auch weniger Stickstoff. Die angeführten Ergebnisse anderer Versuchsansteller lassen jedoch keinen Zweifel, daß P-Mangel auch die Eiweißbildung hemmt.

Je nach den Versuchsbedingungen, insbesondere je nach der Pflanzenart und der Höhe und dem Zeitpunkt der Stickstoffgabe wird die Hemmung der Stickstoffaufnahme oder die Hemmung der Eiweißbildung mehr ins Gewicht fallen. Im ersten Fall werden die P-Mangelpflanzen mehr anorganischen, insbesondere mehr Nitratstickstoff enthalten als die mit P gedüngten Pflanzen, im zweiten Fall wird es umgekehrt sein.

In den Versuchen des Jahres 1937 wurde gefunden, daß bei P-Mangel die mit Nitratstickstoff ernährten Pflanzen, bei P-Düngung die mit Ammoniakstickstoff ernährten Pflanzen höhere Trockensubstanzerträge brachten. Bei P-Mangel hatten die Ammoniakpflanzen den Habitus von Pflanzen, die auf sauren, P-armen Böden wachsen, obwohl der Versuchsboden kohlensauren Kalk enthielt und außerdem 2 g Kalziumkarbonat als Grunddüngung gegeben war. Diejenigen Ammoniakpflanzen, die P-Kopfdüngung erhalten hatten, erholten sich sehr schnell und standen bald besser als die entsprechenden Nitratpflanzen. Die mit P gedüngten Nitratpflanzen bekamen weiße Spitzen, die für P-Überdüngung charakteristisch sind. Der schlechtere Stand der ohne P gebliebenen Ammoniakpflanzen und der mit P gedüngten Nitratpflanzen kann somit eine Folge der hier gewählten Versuchsbedingungen sein. Die Befunde von Turtschin und von

Tabelle 3.

Jahr	N-Form	Erntetag	Düngung	Gehalt der Trockensubstanz an		
				Äther-löslichem %	Alkohol-löslichem %	Summe %
1937	NH_4	t_1	ohne P	3,6	17,6	21,2
		t_2	ohne P	3,9	9,4	13,3
		t_2	mit P	5,2	18,6	23,8
		t_3	ohne P	3,1	5,6	8,7
		t_3	mit P	5,3	15,4	20,7
	NO_3	t_1	ohne P	2,8	13,6	16,4
		t_2	ohne P	4,1	11,5	15,6
		t_2	mit P	5,3	16,2	21,5
		t_3	ohne P	4,6	8,1	12,7
		t_3	mit P	4,9	18,2	23,1
1938		t_1	ohne P	18,2	14,4	32,6
		t_1	ohne K	14,5	19,6	34,1
		t_1	ohne N	13,8	13,6	27,4
		t_1	ohne Mg	16,4	17,2	33,6
		t_1	Volldüngung	8,3	29,9	38,2
		t_2	ohne P	4,9	15,0	19,9
		t_2	mit P	6,9	27,9	34,8
		t_2	ohne K	5,9	21,6	27,5
		t_2	mit K	4,5	24,8	29,3
		t_2	ohne N	5,5	12,3	17,8
		t_2	mit N	3,2	23,7	26,9
		t_2	ohne Mg	6,5	24,4	30,9
		t_2	mit Mg	4,3	27,2	31,5
		t_2	Volldüngung	4,5	23,4	27,9

Arenz (21), wonach P-Mangel besonders auf die Nitratpflanzen schädlich wirkt, wurde durch meine Versuche nicht bestätigt.

Kalimangel, dessen Wirkung nur im Jahre 1928 untersucht wurde, scheint den Stickstoffwechsel nicht in dem Maße zu beeinflussen, wie P-Mangel.

6. In Äther und Alkohol Lösliches. Eine Probe des Pflanzenmaterials wurde getrocknet und im Soxhlet-Apparat etwa 7 Stunden lang mit wasserfreiem Äther, darauf 10 Stunden lang mit wasserfreiem Alkohol extrahiert. Der Extrakt wurde eingedampft und bei 90° C getrocknet.

Tabelle 3 enthält die Mengen der in Äther und in Alkohol löslichen Substanz. Mangel an Phosphorsäure hat in allen Reihen eine Abnahme des in Äther und in Alkohol Löslichen zur Folge gehabt.

Das in Äther und Alkohol Lösliche gehört zu verschiedenen chemischen Stoffklassen. In jungen Pflanzen dürfte die extrahierbare Menge wohl nur zu einem geringen Teil aus Fetten bestehen. Welche Stoffklassen hier vorherrschen, ist noch wenig bekannt. Es wird sich lohnen, gerade dem Extrahierbaren in

Zukunft mehr Aufmerksamkeit zu schenken, da es einen großen Anteil der organischen Substanz ausmacht.

Das aus jungen Pflanzen Extrahierbare wird wohl zu einem wesentlichen Teil aus Stoffwechselzwischenprodukten bestehen. Ausgangssubstanzen sind die Kohlehydrate. Es ist anzunehmen, daß die Umwandlung von Kohlehydrat in Fett zunächst über die gleichen Zwischenprodukte geht wie die Veratmung der Kohlehydrate (H. Haehn und W. Kinttof [22]) und daß zur Fettbildung, ebenso wie zur Veratmung, Phosphorsäure nötig ist. Es kann daher vermutet werden, daß auch die Stoffklassen, die die Hauptmenge des Extrahierbaren ausmachen, aus Kohlehydraten nur gebildet werden, wenn Phosphorsäure zugegen ist.

Unter dem Extrahierbaren befindet sich auch das Chlorophyll. Es ist bekannt, daß P-arm ernährte Pflanzen tiefer grün gefärbt sind als Volldüngungspflanzen. Diese Beobachtung wurde bestätigt, soweit es sich um sehr junge Pflanzen handelte. Im weiteren Verlauf des Wachstums wurde die Farbe der P-Mangelpflanzen heller und war dann sogar heller als die Farbe der mit P gedüngten Pflanzen. Besonders im Jahre 1936, in dem die Zeiten t_1, t_2 und t_3 verhältnismäßig spät lagen, waren die P-Mangelpflanzen beträchtlich heller als die mit P gedüngten Pflanzen.

Wie aus den Versuchen des Jahres 1938 hervorgeht, wurde der Gehalt an in Äther und in Alkohol löslichen Stoffen durch Stickstoffmangel ebenfalls gesenkt.

Zusammenfassung.

1. Haferpflanzen wurden in einem P-armen Medium gezogen. Ein Teil der Pflanzen erhielt eine P-Kopfdüngung. Einige Tage später wurden die P-Mangelpflanzen und die mit mit P gedüngten Pflanzen geerntet und analysiert.

2. P-Mangel hatte eine Anhäufung von Monosaccharid, Gesamtzucker und vor allem Disaccharid zur Folge.

3. Die P-Mangelpflanzen enthielten weniger Gesamtstickstoff, Eiweißstickstoff und Nitratstickstoff als die mit P gedüngten Pflanzen; auf die Gehalte an Amidstickstoff und α-Aminostickstoff konnte kein eindeutiger Einfluß der Phosphorsäuredüngung festgestellt werden.

4. Durch P-Mangel wurde der Gehalt an in Äther und in Alkohol löslichen Substanzen herabgesetzt.

Schrifttum.

1. Lehmann, O.: Die quantitative Erfassung kleinster Mengen biologisch wichtiger Zuckerarten. Planta, Berlin, **13**, 1931, 575.
2. McGillivray, J. H.: Effect of phosphorus on the composition of the tomato plant. J. Agr. Res., Washington, **34**, 1927, 97.
3. Kraybill, H. R.: Plant metabolism studies as an aid in determining fertilizer requirements I. Ind. Eng. Chem., New York, **22**, 1930, 275.
4. Eckerson, S. H.: Influence of phosphorus deficiency on metabolism of the tomato, Contr. Boyce Thompson Inst. Yonkers, **3**, 1931, 197.
5. Jones, W. W.: Respiration and metabolism in etiolated wheat seedlings as influenced by phosphorus nutrition. Plant Physiol, Lancaster, **11**, 1936, 562.

6. Gregory, F. S., u. E. C. D. Baptisse: Physiological studies in plant nutrition V. Ann. Botany, London, **50**, 1936, 579.
7. Volk, A., u. E. Tiemann: Zur Anatomie verschieden ernährter Pflanzen. Forsch. a. d. Geb. d. Pflanzenkrankh., Berlin, 1927, H. 3.
8. Böning, K., u. E. Böning-Seubert: Über die Beziehungen zwischen Infektionstyp, Aufbau und Stoffwechselverlauf bei verschiedener Mineralsalzernährung der Pflanze. Zbl. Bakt. 2. Abt., Jena, **89**, 1933, 85.
9. Haas, A. R. C.: Phosphorus relations of lemon cuttings grown in solution cultures. Bot. Gaz., Baltimore, **97**, 1936, 794.
10. Richards, F. J.: Physiological studies in plant nutrition. VIII. Ann. Botany N. S., London, **2**, 1938, 491.
11. Barrenscheen, H. W., u. W. Albers: Über die Rolle der Phosphorylierung im intermediären Kohlehydratstoffwechsel der Pflanze. Biochem. Z., Berlin, **197**, 1928, 261.
12. Barrenscheen, H. W., u. J. Pany: Über die Rolle der Phosphorylierung. II. Biochem. Z., Berlin, **219**, 1930, 364.
13. Rao, M. G.: Esterification of phosphate in the respiratory breakdown of sugar in higher plants. Nature, London, **1**, 1935, 909.
14. Pucher, G. W.: Determination of total nitrogen of plant extracts in presence of nitrates. Ind. Eng. Chem. Annal. Ed., New York, **2**, 1930, 191.
15. Parnas, J. K., u. A. Klisiecki: Über den Ammoniakgehalt und die Ammoniakbildung im Blute. VI. Mitt. Biochem. Z., Berlin, **173**, 1926, 224.
16. Alten, F., B. Wandrowsky u. E. Hille: Die Bestimmung des Nitratstickstoffes in Pflanzensubstanzen als Nitroxylenol. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **1**, 1936, 340.
17. Turtschin, Th. W.: Die Rolle des Kaliums und des Phosphors bei der Assimilation verschiedener Stickstofformen durch Pflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **44**, 1936, 65.
18. Carolus, R. L.: Experiences with rapid chemical tests for the determination of nutrient deficiencies in vegetable crops. Chem. Abstr., Washington, **30**, 193.
19. Richards, F. J., u. W. G. Templeman: Physiological studies in plant nutrition IV. Ann. Botany, London, **50**, 1936, 367.
20. Waltner, B. P.: The effect of a limited supply of phosphorus on the nitrate-reducing ability of Kentucky Blue grass. Chem. Abstr., Washington, **32**, 1938, 2170.
21. Arenz, B.: Beiträge zur Frage der Wirkung von Salpeter und Ammoniakstickstoff auf den Pflanzenwuchs bei verschiedenen Nährstoffverhältnissen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **8**, 1938, 182.
22. Haehn, H., u. W. Kinttof: Beitrag über den chemischen Mechanismus der Fettbildung aus Zucker. Chemie d. Zelle u. Gewebe, Leipzig, **12**, 1926, 115.

[274]

Über Gefäßversuche zur Ermittlung der Wirkung einiger neuer Phosphorsäure-Düngemittel[1]).

Von **F. Giesecke** und **G. Michael**, unter Mitwirkung von **L. Kuhn.**

Aus dem Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin.

Eingegangen: 31. Oktober 1938.

In den Jahren 1937 und 1938 wurden Gefäßversuche angelegt, die zum Ziel hatten, verschiedene neue Phosphorsäure-Düngemittel auf ihre Wirkung und ihre Ausnutzbarkeit auf verschiedenen Böden im Vergleich zu einigen handelsüblichen zu untersuchen. Bevor auf den Versuchsplan eingegangen werden soll, seien die einzelnen Düngemittel zunächst kurz skizziert.

---

[1]) Aus dem Arbeitskreis II/8 des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Dr. Giesecke, Berlin.

	P_2O_5-Gehalt in %			basisch wirks. CaO in %
	Gesamt	löslich in 2 % Zitr.-Säure	Wasser	
Réno I	24,7	10,6	0,0	10
Réno II	29,0	13,6	0,0	8
Wasag	18,9	17,6	15,3	—
„Lübecker“	23,3	22,6	1,2	22
Rhenania	25,0	23,3	0,2	11
Thomasmehl	15,7	14,8	0,0	25
Superphosphat	19,5	19,1	18,8	—

Die beiden Réno-Phosphate stellen wahrscheinlich kalzinierte, noch wenig aufgeschlossene Rohphosphate dar mit einem hohen Gesamt-P_2O_5-Gehalt, von dem aber nur ein geringerer Teil Zitronenensäure-löslich ist. Sie besitzen basische Wirksamkeit.

Das Lübecker Phosphat ist ein Produkt mit einem hohen Kalzium-Gehalt, von dem der größte Teil basisch wirksam ist. Es besitzt kaum wasserlösliche Phosphorsäure, dafür ist fast die gesamte Menge in 2%iger Zitronensäure löslich.

Das Wasag-Phosphat besitzt den größten Teil seiner Phosphorsäure in wasserlöslicher Form. Es ist nicht basisch wirksam, seine wäßrige Aufschwemmung reagiert schwach sauer.

Der Versuchsplan sah im ersten Versuchsjahr 1937 die Prüfung dieser Phosphate auf — im Hinblick auf Bodenreaktion — extremen Böden vor, aber ohne Variation der Menge der gegebenen Phosphate, nämlich je Gefäß in einer Menge von 1,0 g Gesamt-P_2O_5, während im zweiten Versuchsjahr 1938 gestaffelte Phosphorsäuregaben zur Verwendung gelangten. Die Versuche wurden jedesmal in Mitscherlich-Gefäßen ausgeführt.

An Böden gelangten zur Verwendung im ersten Jahr:

1. Reiner Glassand, 7,5 kg je Gefäß,
2. Glassand + 2% Torfmull, 6,0 kg je Gefäß,
3. Saurer, phosphorsäurearmer Heidesand, Königsmoor, mit 4,3 mg Neubauer-Phosphorsäure, 5,0 kg je Gefäß,
4. Etwa 7% Kalziumkarbonat enthaltender Niederungsmoorboden, Zeestow, mit 3,7 mg Neubauer-P_2O_5, 5,5 kg je Gefäß,
5. Neutraler Lehmboden Rettgau, 12,3 mg Neubauer-P_2O_5, 5,5 kg je Gefäß.

Im zweiten Jahr:

1. Sandboden Steinburg, mit 3,9 mg Neubauer-P_2O_5, schwach mineralsauer, (Austauschazidität = 0,6 ccm, Hydrolytische Azidität = 11,0 ccm), 7,0 kg je Gefäß.
2. Moorboden Steinburg (Austauschazidität = 0,3 ccm, Hydrolytische Azidität = 13,0 ccm n/10 NaOH) mit 1,5 mg Neubauer-P_2O_5, 5,5 kg je Gefäß.

Die Versuche des Jahres 1937.

Der Versuchsplan des ersten Jahres, der aus der Tabelle 1 hervorgeht, wurde noch insofern erweitert, als das Superphosphat, das neben dem Thomasmehl und dem Rhenaniaphosphat als Vergleichsphosphat diente, in weiteren Reihen mit soviel Kalziumkarbonat versetzt wurde, wie es der basischen Wirksamkeit der Réno-Phosphate bzw. des Lübecker Phosphates entsprach, um bei der Beurteilung der Ergebnisse die Möglichkeit der Entscheidung zu haben, ob Unterschiede lediglich auf die Phosphorsäure oder etwa auf die verschiedene basische Wirkung der einzelnen Dünger zurückzuführen sind.

Die Durchführung des Vegetationsversuches gestaltete sich folgendermaßen:

Die allen Gefäßen gleichmäßig gegebene Grunddüngung bestand je Gefäß aus

1,2 g N als Ammoniumnitrat (in drei getrennten Gaben zu je 0,4 g),
1,2 g K_2O als Kaliumsulfat.

Dazu kam der erwähnte gestaffelte Kalziumkarbonat-Zusatz und die Phosphorsäuremenge, dem Versuchsplan entsprechend.

Boden Königsmoor erhielt darüber hinaus 0,4 g Kupfersulfat (krist.) zur Verhütung der Urbarmachungskrankheit. Den Gefäßen mit reinem Glassand und Glassand + Torf wurden ferner noch je Gefäß gegeben:

1,0 g Magnesiumsulfat,
0,25 g Natriumchlorid,
0,1 g Eisensulfat,
0,1 g Mangansulfat.

Jeder Versuch wurde im Jahre 1937 mit vier Parallelen angelegt. Die in der Tabelle angegebenen Werte stellen Mittelwerte aus diesen Parallelen dar. Als Versuchspflanze diente Svalöfs Goldregenhafer.

Der Verlauf der Vegetation sei kurz geschildert:

Am 14. April 1937 wurden je Gefäß nach der Probeentnahme für die pH-Wert-Bestimmungen 38 Körner ausgesät, die Pflanzen am 3. Mai auf 20 Stück vereinzelt. Die Wassergabe wurde allmählich von 60% auf 80% der Wasserkapazität gesteigert, zur Zeit des Vergilbens allmählich bis auf 40% gesenkt. Die zweiten und dritten N-Gaben erfolgten am 10. und 19. Mai 1937.

Die Unterschiede der Pflanzen waren, den extremen Eigenschaften der Böden entsprechend, recht erheblich. Schon bald nach dem Aufgang der Saat blieben die Pflanzen ohne P_2O_5-Gabe und die der Réno-Phosphate auf dem alkalischen Boden Zeestow und den schwach alkalischen Gefäßen mit Glassand im Wachstum zurück. Das Blühen setzte am 12. Juni bei den Mangelpflanzen und auf den mehr alkalischen Böden ein, als letztere Pflanzen folgten die sauersten Reihen mit Sand + Torf und Königsmoor. Das Vergilben vollzog sich in ähnlicher Reihenfolge.

Einen Querschnitt durch einen Teil der Versuche, und zwar den Stand mit den interessantesten Versuchen, den Réno-Phosphaten, veranschaulichen die Abbildungen vom 22. Mai und während des Vergilbens vom 2. Juli.

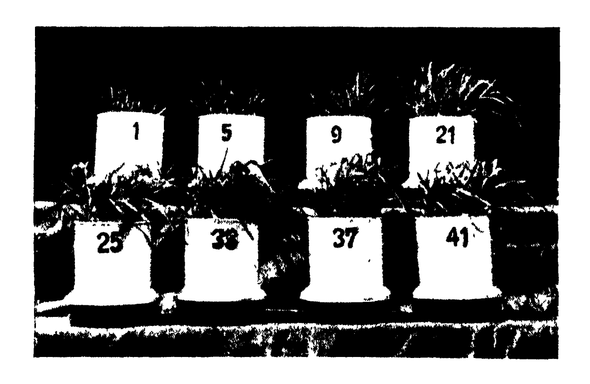


Abb. 1.

Hafer auf Glassand.

Gefäß Nr. 1 = ohne P_2O_5;
5 = Réno I;
9 = Réno II;
21 = Superph. + Kalk wie 5;
Gefäß Nr. 25 = Superph. + Kalk wie 9;
33 = Rhenania-Phosph.;
37 = Thomasmehl;
41 = Superph. o. Kalk.

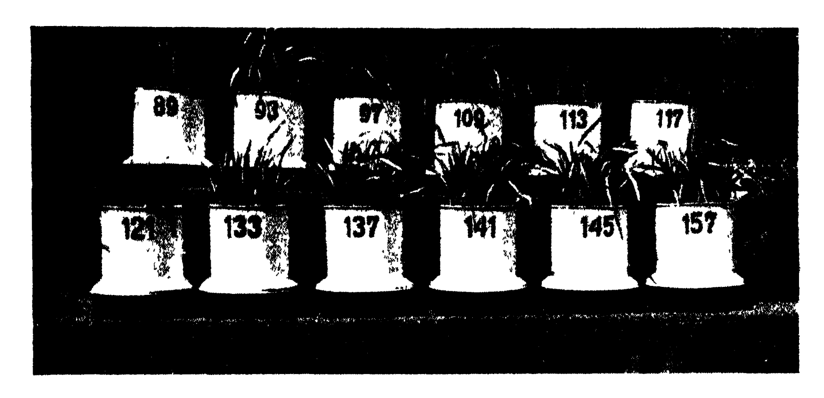


Abb. 2.

Hafer auf Boden

Königsmoor	Zeestow	Rettgau
89 = ohne P_2O_5	113 = ohne P_2O_5	137 = ohne P_2O_5
93 = Réno I	117 = Réno I	141 = Réno I
97 = Réno II	121 = Réno II	145 = Réno II
109 = Thomasmehl	133 = Thomasmehl	157 = Thomasmehl

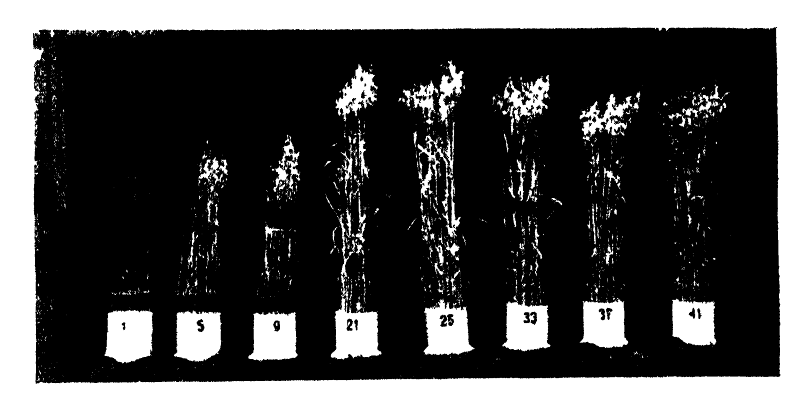


Abb. 3.

Hafer auf Glassand.

Gefäß Nr. 1 = ohne P_2O_5;
5 = Réno I;
9 = Réno II;
21 = Superph. + Kalk wie 5;
25 = Superph. + Kalk wie 9;

Gefäß Nr. 33 = Rhenania-Phosph.;
37 = Thomasmehl;
41 = Superph. o. Kalk.

21 = Superph. + Kalk wie 5;

Die Ernte erfolgte bei den Mangelpflanzen auf Sand und Sand + Torf am 16. Juli, die aller anderen am 29. Juli, getrennt in Stroh und Korn. Nach der Ernte des Hafers wurde auf dieselben Gefäße ohne erneute Düngung, lediglich nach Auflockern der oberen Schicht, am 30. Juli Senf ausgesät. Die Pflanzen wurden auf 20 Stück vereinzelt, bis zu 60 % der Wasserkapazität bewässert und am 1. September geerntet. Die Trockengewichte gibt ebenfalls die Tabelle 1 wieder.

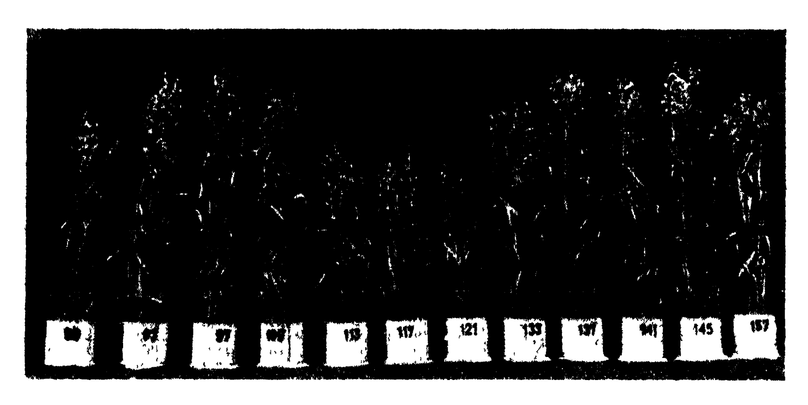


Abb. 4.

Hafer auf Boden

Königsmoor	Zeestow	Rettgau
89 = ohne P_2O_5	113 = ohne P_2P_5	137 = ohne P_2O_5
93 = Réno I	117 = Réno I	141 = Réno I
97 = Réno II	121 = Réno II	145 = Réno II
109 = Thomasmehl	133 = Thomasmehl	157 = Thomasmehl

Die Erträge spiegeln im großen und ganzen den Vegetationsverlauf wider. Die Unterschiede des Senfs lassen sich nicht direkt mit der Verschiedenheit in der Phosphorsäuredüngung in Zusammenhang bringen, da durch den Hafer die anderen Nährstoffe, wie etwa Stickstoff und Kali den Böden in verschiedenem Grade weitgehend entzogen wurden, die nun ihrerseits ebenfalls das Wachstum des Senfs entscheidend beeinflußten. Im Mittelpunkt unserer Arbeit stand ja die Ermittlung der Phosphorsäureausnutzung der einzelnen Dünger. Deshalb sollte auch der Senf lediglich dazu dienen, die Frage der Ausnutzung der in allen Fällen gleich hoch gegebenen Phosphorsäuremenge durch den Hafer auch durch einen Nachbau zu klären. Besonders für die Réno-Phosphate wird seitens der Hersteller geltend gemacht, daß bei den Réno-Phosphaten die Wirkung wahrscheinlich erst bei der Zweitfrucht besonders deutlich würde.

Zur Ermittlung der Ausnutzung der gegebenen Phosphorsäure wurden P_2O_5-Analysen in Korn und Stroh ausgeführt, und zwar anfänglich nach der gravimetrischen Methode nach v. Lorenz, später, als genügend Kontrollbestimmungen die Verwendung des Photozellenkolorimeters nach Lange (1) gesichert hatten, nach der kolorimetrischen nach Zinzadze. Zur Kontrolle der Eichkurve wurde bei jeder Analysenreihe von etwa 16 Aschenlösungen eine Standard-P_2O_5-Lösung mit angefärbt. — Aus dem prozentualen P_2O_5-Gehalt und dem Ernteertrag wurde die Ausnutzung berechnet. Die entsprechenden Werte sind in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Versuche veranschaulichen, daß die Ausnutzung der gegebenen Phosphate auf sauren Böden eine weitaus höhere als auf denen mit alkalischer Reaktion ist und daß von den Phosphaten wiederum diejenigen mit viel wasser- bzw. zitronensäurelöslicher Phosphorsäure im Gefäßversuch am besten ausgenutzt werden. Der Kalkzusatz zum Superphosphat hat sich weder auf

Tabelle 1.

Erträge und Ausnutzungswerte der Versuche des Sommers 1937, Mittelwerte aus vier Parallelen unter Angabe des mittleren Fehlers bei der Haferernte. (Bei der Senfernte wurde auf die Angabe des mittleren Fehlers verzichtet, da verschiedene Parallelgefäße infolge zu geringer Substanzproduktion zusammen geerntet werden mußten und der je Gefäß angegebene Ertrag durch Division durch die Anzahl der Parallelen erhalten wurde, so daß der mittlere Fehler nicht angegeben werden konnte.) Bei der Berechnung des Ausnutzungsgrades ist in jeder Versuchsreihe der jeweilige Gehalt der Pflanzen ohne zusätzliche P_2O_5-Düngung in Abzug gebracht.

A. Auf Glassand.

Gefäß-Nr.	P_2O_5-Art	pH-Werte vor dem Versuch	pH-Werte nach dem Versuch	Hafer: Ernteerträge an Trockensubstanz in g je Gefäß: Stroh	Korn	Gesamt	Hafer: P_2O_5-Gehalt in % der Trockensubstanz: Stroh	Korn	Hafer: insges. aufgenom. P_2O_5-Menge je Gefäß in mg	Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Senf: P_2O_5-Gehalt in %	Hafer+Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Hafer+Senf: erfolgte Ausnutzung der gegebenen P_2O_5 in %
1—4	ohne P_2O_5	7,2	5,2	2,1 ± 0,2	—	2,1 ± 0,2	0,08	—	2 ±0,1	1,3	0,2	3,4	—
5—8	Réno I	7,6	6,6	14,7 ± 1,1	12,7 ± 1,7	27,4 ± 2,8	0,06	0,61	85 ± 5	9,6	0,5	37,0	12
9—12	Réno II	7,5	6,7	23,4 ± 0,5	19,9 ± 1,6	43,3 ± 0,7	0,06	0,70	152 ± 3	2,5	0,7	45,8	17
13—16	Wasag	6,5	6,2	45,9 ± 0,7	27,9 ± 0,6	73,8 ± 1,2	0,56	1,12	571 ± 3	0,9	2,1	74,7	59
17—20	Lübeck	8,2	6,7	44,2 ± 0,6	31,5 ± 1,3	75,7 ± 1,5	0,48	1,00	526 ± 17	1,1	1,2	76,8	53
21—24	Superph. + Kalk wie in Réno I	6,6	6,4	46,6 ± 0,7	28,9 ± 0,8	75,5 ± 1,4	0,51	1,10	555 ± 17	0,8	2,3	76,3	56
25—28	Superph. + Kalk wie in Réno II	6,6	6,4	48,3 ± 1,0	29,0 ± 1,2	77,4 ± 1,2	0,54	1,11	582 ± 8	0,7	2,3	78,1	59
29—32	Superph. + Kalk wie in Lübeck	6,5	6,6	46,4 ± 1,2	25,9 ± 1,6	72,3 ± 2,0	0,55	1,10	537 ± 10	0,6	1,9	72,9	55
33—36	Rhenania	7,6	7,2	43,5 ± 0,8	30,2 ± 0,3	73,7 ± 1,2	0,31	1,00	436 ± 3	0,9	1,2	74,6	44
37—40	Thomasmehl	7,5	7,5	41,7 ± 0,9	31,6 ± 1,6	73,3 ± 1,8	0,12	0,94	344 ± 4	0,8	1,1	74,1	35
41—44	Superphosphat ohne Kalk	6,4	6,3	46,2 ± 0,5	26,8 ± 0,7	73,0 ± 1,1	0,55	1,13	558 ± 14	0,8	2,3	73,8	58

B. Auf Glassand + 2% Torf.

Gefäß-Nr.	P_2O_5-Art	pH vor	pH nach	Stroh	Korn	Gesamt	P_2O_5 Stroh	P_2O_5 Korn	P_2O_5-Menge mg	Senf Trockensubstanz g	Senf P_2O_5 %	Hafer+Senf Trockensubstanz g	Ausnutzung %
45—48	ohne P_2O_5	4,9	4,9	4,2 ± 0,4	1,0 ± 0,1	5,2 ± 0,5	0,06	0,35	6,1 —	1,2	0,2	6,4	—
49—52	Réno I	5,0	4,9	49,3 ± 1,2	21,2 ± 2,7	70,5 ± 3,1	0,63	1,18	560 ± 17	0,7	3,0	71,2	57
53—56	Réno II	4,9	4,9	50,2 ± 1,3	17,4 ± 2,9	67,6 ± 3,1	0,67	1,19	576 ± 15	0,6	3,3	68,2	59
57—60	Wasag	4,6	4,4	42,7 ± 0,4	15,4 ± 1,9	58,1 ± 2,4	0,91	1,17	569 ± 23	0,5	3,2	58,6	57

Tabelle 1 (Fortsetzung).

B. Auf Glassand + 2% Torf.

Gefäß-Nr.	P_2O_5-Art	pH-Werte vor dem Versuch	pH-Werte nach dem Versuch	Hafer: Ernteerträge an Trockensubstanz in g je Gefäß: Stroh	Korn	Gesamt	Hafer: P_2O_5-Gehalt in % der Trockensubstanz: Stroh	Korn	Hafer: insges. aufgenom. P_2O_5-Menge je Gefäß in mg	Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Senf: P_2O_5-Gehalt in %	Hafer + Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Hafer + Senf: erfolgte Ausnutzung der gegebenen P_2O_5 in %
61—64	Lübeck	5,8	4,9	54,1 ± 0,8	20,1 ± 2,8	74,2 ± 2,2	0,81	1,19	628 ± 12	0,5	3,1	74,7	63
65—68	Superph. + Kalk wie in Réno I	4,6	4,3	49,0 ± 1,7	19,8 ± 2,8	68,8 ± 4,0	0,76	1,20	606 ± 30	0,4	3,1	69,2	61
69—72	Superph. + Kalk wie in Réno II	4,6	4,3	48,1 ± 1,6	19,0 ± 1,3	67,1 ± 2,9	0,79	1,14	596 ± 23	0,4	3,0	67,5	60
73—76	Superph. + Kalk wie in Lübeck	4,7	4,4	47,4 ± 1,2	21,7 ± 1,1	69,1 ± 0,6	0,71	1,16	585 ± 11	0,4	3,2	69,5	59
77—80	Rhenania	5,1	4,9	49,2 ± 1,1	51,1 ± 0,9	74,4 ± 1,8	0,62	1,12	586 ± 18	0,4	3,0	74,8	59
81—84	Thomasmehl	5,2	5,2	45,8 ± 1,3	24,3 ± 2,3	70,1 ± 3,5	0,58	1,07	522 ± 9	0,5	2,9	70,6	53
85—88	Superphosphat ohne Kalk	4,3	4,3	49,8 ± 2,9	20,3 ± 1,8	70,1 ± 2,1	0,83	1,14	645 ± 20	0,3	3,1	70,4	65
	C. Auf Boden Königsmoor.												
89—92	ohne P_2O_5	3,7	4,1	20,1 ± 0,8	12,1 ± 1,2	32,2 ± 2,0	0,12	0,58	93 ± 7	0,3	1,0	32,5	—
93—96	Réno I	3,9	4,1	40,9 ± 1,3	20,4 ± 2,2	61,3 ± 3,1	0,72	1,11	522 ± 20	0,4	2,8	61,7	44
97—100	Réno II	3,9	4,1	40,8 ± 1,0	19,9 ± 0,8	60,7 ± 1,4	0,63	1,22	499 ± 10	0,4	2,8	61,1	42
101—104	Wasag	3,5	3,5	29,5 ± 1,9	8,7 ± 1,8	38,2 ± 3,3	0,91	1,32	378 ± 11	0,2	2,5	38,4	28
105—108	Lübeck	4,1	4,0	45,9 ± 2,0	19,8 ± 1,0	65,7 ± 1,5	0,67	1,33	571 ± 16	0,3	2,3	66,0	48
109—112	Thomasmehl	3,8	4,1	44,6 ± 1,4	23,4 ± 1,2	68,0 ± 1,9	0,62	1,26	572 ± 9	0,6	2,2	68,6	49
	D. Auf Boden Zeestow.												
113—116	ohne P_2O_5	7,9	8,2	19,5 ± 0,8	12,3 ± 0,3	31,8 ± 0,6	0,09	0,70	105 ± 2	3,6	0,3	35,4	—
117—120	Réno I	7,8	8,3	20,2 ± 0,4	12,5 ± 0,4	32,7 ± 0,4	0,09	0,70	106 ± 2	8,5	0,5	41,2	3
121—124	Réno II	7,9	8,2	18,7 ± 0,5	11,9 ± 0,6	30,6 ± 0,9	0,12	0,68	103 ± 6	9,5	0,5	40,1	4
125—128	Wasag	7,8	8,1	45,0 ± 1,4	24,7 ± 1,1	69,7 ± 1,0	0,13	1,03	310 ± 3	2,0	0,8	71,7	21
129—132	Lübeck	8,1	8,3	44,0 ± 0,6	25,8 ± 2,0	69,8 ± 2,3	0,12	1,05	323 ± 20	2,3	0,8	72,1	23
133—136	Thomasmehl	8,0	8,3	37,6 ± 1,6	22,9 ± 1,0	60,5 ± 2,4	0,09	0,90	241 ± 13	2,9	0,6	63,4	15

Tabelle 1 (Fortsetzung).

E. Auf Boden Rettgau.

Gefäß-Nr.	P_2O_5-Art	pH-Werte vor dem Versuch	pH-Werte nach dem Versuch	Hafer: Ernteerträge an Trockensubstanz in g je Gefäß: Stroh	Korn	Gesamt	Hafer: P_2O_5-Gehalt in % der Trockensubstanz: Stroh	Korn	Hafer: insges. aufgenom. P_2O_5-Menge je Gefäß in mg	Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Senf: P_2O_5-Gehalt in %	Hafer+Senf: Trockensubstanz je Gefäß in g	Hafer+Senf: erfolgte Ausnutzung der gegebenen P_2O_5 in %
137—140	ohne P_2O_5	6,7	7,1	39,4 ± 1,4	24,9 ± 0,8	64,3 ± 2,0	0,06	0,54	159 ± 11	5,5	0,7	69,8	—
141—144	Réno I	6,7	6,9	38,1 ± 1,1	24,0 ± 0,6	62,1 ± 1,1	0,06	0,59	163 ± 3	5,6	0,7	67,7	–
145—148	Réno II	6,7	6,8	40,4 ± 1,6	22,9 ± 1,3	63,3 ± 2,0	0,06	0,55	149 ± 10	5,0	0,7	68,3	—
149—152	Wasag	6,5	6,7	41,8 ± 1,5	25,3 ± 1,8	67,1 ± 1,7	0,16	1,12	352 ± 4	3,7	1,0	70,8	19
153—156	Lübeck	6,8	7,0	44,4 ± 2,6	24,5 ± 0,5	68,9 ± 2,9	0,16	1,06	330 ± 8	4,0	1,0	72,9	17
157—160	Thomasmehl	6,7	7,1	43,8 ± 1,8	26,3 ± 0,6	70,1 ± 1,4	0,09	0,84	261 ± 6	4,6	0,9	74,4	10

die Erträge noch auf die Ausnutzung wesentlich ausgewirkt. In allen Fällen ist die Ausnutzung des Superphosphates eine große, und zwar so hoch, wie sie nur in Gefäßversuchen bei optimalen Verhältnissen und ohne starke Phosphorsäurefestlegung möglich ist.

Die beiden kalzinierten Rohphosphate, besonders dasjenige mit dem geringeren zitronensäurelöslichen P-Anteil, werden auf neutralen bis alkalischen Böden nicht oder nur in geringem Maße ausgenutzt, wohl aber auf den beiden sauren Böden. — Das Wasag-Phosphat — ohne basisch wirksame Stoffe — mit dem großen Anteil an wasserlöslicher Phosphorsäure wirkt dagegen gerade auf den neutralen bis alkalischen Böden am besten, während es auf Böden mit zu saurer Reaktion geringer ausgenutzt wird. — Das basische Superphosphat Lübeck hat sich auf allen — auch den extremen Böden — als günstig erwiesen.

Die Versuche des Jahres 1938.

Hatten die Versuche des Vorjahres einen allgemeinen Überblick über die Wirkung auf mehr oder weniger extremen Böden geliefert, so sah der Versuchsplan, der aus der Tabelle 2 hervorgeht, die Untersuchung in gestaffelten Gaben vor.

Die beiden Böden aus Steinburg sind bereits oben kurz beschrieben. Von den beiden Réno-Phosphaten wurde nur noch das günstiger wirkende mit dem höheren zitronensäurelöslichen Phosphorsäure-Anteil verwendet. Die Phosphorsäuredüngemittel wurden in Mengen zu je 0,5, 1,0 und 2,0 g Gesamt-Phosphorsäure gegeben, die erhöhte basische Wirksamkeit der hohen Mengen wurde auch in diesem Jahre durch Kalziumkarbonatzugabe zu den

geringeren Mengen ausgeglichen. — Die Aussaat erfolgte am 22. März 1938. Die beiden letzten N-Gaben wurden am 17. Mai und 8. Juni verabfolgt.

Das Wachstum der Pflanzen auf dem Sandboden war mehr oder weniger einheitlich. Das mag seinen Grund darin haben, daß der Boden zu ausgeprägteren Unterschieden in der Phosphorsäurefrage nicht genügend phosphorsäurearm war. Ein schwach ausgeprägter Phosphorsäuremangel — als leichte Weinrotfärbung des älteren Laubes und Zurückbleiben beim Blühen und Vergilben erkennbar — war nur bei den Pflanzen ohne Phosphorsäuregabe sichtbar.

Auf dem Moorboden zeigte das Wachstum stärkere Unterschiede, wie aus der Abb. 5 vom 30. Juni 1938 hervorgeht. Dieser Boden ist, dem nach der Neubauer-Methode gefundenen P_2O_5-Wert zufolge, viel phosphorsäureärmer als der vorher genannte. Alle verabfolgten Phosphorsäuredüngemittel haben sichtbar üppigeres Wachstum bewirkt. Während von den leichter aufnehmbaren Phosphaten bereits die mittleren Mengen zu fast optimaler Entwicklung genügen, bringen bei den schwerer aufnehmbaren Phosphaten erst die höchsten Gaben die größten Pflanzen hervor, wie es sehr gut aus der Abbildung 5 hervorgeht.



Abb. 5.

Hafer auf Moorboden Steinburg.

Gefäß-Nr. 280	283 = 0,5 g Ges. 286 = 1,0 g P_2O_5 289 = 2,0 g	310 = 0,5 g Ges. 313 = 1,0 g P_2O_5 316 = 2,0 g	319 = 0,5 g Ges. 322 = 1,0 g P_2O_5 325 = 2,0 g
ohne P_2O_5	als Réno II	als Thomasmehl	als Superphosphat

Im Blühen und Vergilben blieben diejenigen Pflanzen zurück, die auch schon durch violett-rote Verfärbung ihrer Blätter Phosphorsäuremangel erkennen ließen, wie z. B. die ohne Phosphorsäuregabe und die auf den Réno-Phosphaten und den geringsten Gaben der übrigen Phosphate. Weiterhin waren auch die Pflanzen mit den höchsten Gaben des leicht P_2O_5 zur Verfügung

Tabelle 2.

Erträge und Ausnutzungswerte der Versuche des Sommers 1938. Mittelwerte aus 3 Parallelen unter Angabe des mittleren Fehlers. Bei der Berechnung des Ausnutzungsgrades ist in jeder Versuchsreihe der jeweilige Gehalt der Pflanzen ohne zusätzliche Phosphorsäuredüngung in Abzug gebracht.

A. Auf Sandboden Steinburg.

Gefäß-Nr.	P_2O_5-Düngung		pH-Werte der Böden		Ernteerträge an Trockensubstanz in g je Gefäß			P_2O_5-Gehalt in % der Trockensubstanz		Aufgenommene P_2O_5-Menge je Gefäß	Ausnutzung der gegebenen P_2O_5-Menge in
	Art	Menge an Gesamt-P_2O_5 in g	vor dem Versuch	nach dem Versuch	Stroh	Korn	Gesamt	Stroh	Korn	in mg	%
232—34	ohne	—	5,2	5,1	28,6 ± 0,4	19,8 ± 0,5	48,5 ± 0,7	0,13	0,76	188 ± 9	—
235—37	Réno II	0,5	5,4	5,3	32,2 ± 1,0	24,4 ± 1,2	56,6 ± 2,1	0,06	0,80	216 ± 15	6
238—40	Réno II	1,0	5,3	5,3	38,9 ± 0,5	30,1 ± 1,3	68,9 ± 1,8	0,16	0,73	281 ± 10	9
241—43	Réno II	2,0	5,3	5,3	45,8 ± 2,5	37,5 ± 0,4	83,4 ± 2,8	0,08	0,83	347 ± 27	8
244—46	Wasag	0,5	5,1	5,0	42,0 ± 1,0	33,9 ± 0,8	75,9 ± 1,8	0,06	0,75	279 ± 14	18
247—49	Wasag	1,0	5,1	5,0	47,4 ± 0,9	38,2 ± 0,7	85,6 ± 1,5	0,07	0,92	384 ± 18	20
250—52	Wasag	2,0	5,0	5,0	50,7 ± 0,5	40,5 ± 0,6	91,2 ± 1,1	0,33	1,07	603 ± 6	21
253—55	Lübeck	0,5	6,1	5,7	34,4 ± 1,1	29,0 ± 0,5	63,4 ± 1,6	0,14	0,82	284 ± 5	19
256—58	Lübeck	1,0	6,3	5,7	35,7 ± 1,3	30,8 ± 1,0	66,5 ± 2,3	0,14	0,96	346 ± 21	16
259—61	Lübeck	2,0	6,5	5,7	37,6 ± 2,1	35,1 ± 2,1	72,7 ± 3,6	0,16	0,94	393 ± 58	10
262—64	Thomasmehl	0,5	6,2	6,0	38,1 ± 0,6	30,0 ± 2,4	68,1 ± 2,9	0,11	0,85	296 ± 17	21
265—67	Thomasmehl	1,0	6,1	6,0	43,6 ± 1,7	35,9 ± 0,7	79,6 ± 1,3	0,09	0,97	388 ± 7	20
268—70	Thomasmehl	2,0	5,9	6,1	48,8 ± 1,0	40,3 ± 1,6	89,0 ± 2,6	0,16	1,06	505 ± 48	16
271—73	Superphosphat	0,5	5,1	5,1	40,6 ± 1,7	32,9 ± 2,0	73,5 ± 3,7	0,07	0,76	287 ± 16	20
274—76	Superphosphat	1,0	5,0	4,9	47,8 ± 0,6	38,5 ± 0,8	86,3 ± 1,3	0,13	0,91	411 ± 18	22
277—79	Superphosphat	2,0	4,9	4,9	51,9 ± 2,5	42,9 ± 2,9	94,8 ± 5,3	0,20	1,06	557 ± 21	18

stellenden Wasag- und Superphosphates, bei gleichzeitig herabgedrückten pH-Werten der Böden, beim Blühen und Vergilben zurückgeblieben.

Die Ernte erfolgte durchweg am 29. Juli 1938. Ernteergebnisse, P_2O_5-Gehalt von Stroh und Korn und die daraus berechneten Ausnutzungswerte sind in der Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

B. Auf Moorboden Steinburg.

Gefäß-Nr.	Gegebene P_2O_5 Art	Gegebene P_2O_5 Menge in g	pH-Werte der Böden vor dem Versuch	pH-Werte der Böden nach dem Versuch	Ernteerträge an Trockensubstanz je Gefäß in g Stroh	Korn	Gesamt	P_2O_5-Gehalt in % der Trockensubstanz Stroh	Korn	Aufgenommene P_2O_5-Menge je Gefäß in mg	Ausnutzung der gegebenen P_2O_5-Menge in %
280–82	ohne	—	5,8	5,0	6,0 ± 0,4	3,7 ± 0,3	9,7 ± 0,8	0,20	0,75	40 ± 4	—
283–85	Réno II	0,5	6,0	5,2	10,5 ± 0,3	7,2 ± 0,6	17,7 ± 0,8	0,19	0,85	81 ± 4	8
286–88	Réno II	1,0	5,9	5,4	15,1 ± 1,4	11,6 ± 1,4	26,6 ± 2,8	0,15	0,84	121 ± 18	8
289–91	Réno II	2,0	5,9	5,8	27,4 ± 0,8	26,7 ± 1,3	54,1 ± 2,0	0,15	0,88	270 ± 4	11
292–94	Wasag	0,5	5,7	5,5	26,8 ± 0,8	22,7 ± 2,2	49,5 ± 3,1	0,14	0,89	238 ± 13	40
295–97	Wasag	1,0	5,7	5,4	38,1 ± 1,7	33,3 ± 0,4	71,3 ± 1,7	0,08	0,79	291 ± 5	25
298–00	Wasag	2,0	5,6	5,3	48,4 ± 1,0	39,8 ± 1,7	88,2 ± 2,8	0,25	1,05	538 ± 31	25
301–03	Lübeck	0,5	6,4	6,0	25,1 ± 0,6	20,3 ± 1,1	45,5 ± 1,6	0,18	0,84	215 ± 3	35
304–06	Lübeck	1,0	6,6	5,9	32,9 ± 0,6	27,0 ± 0,6	59,9 ± 1,2	0,13	0,90	285 ± 6	25
307–09	Lübeck	2,0	6,8	6,0	44,3 ± 2,0	38,5 ± 1,4	82,8 ± 3,5	0,12	1,07	466 ± 20	21
310–12	Thomasmehl	0,5	6,5	6,3	25,1 ± 1,2	22,1 ± 0,9	47,2 ± 2,1	0,16	0,86	232 ± 13	38
313–15	Thomasmehl	1,0	6,4	6,2	38,0 ± 1,2	33,0 ± 1,8	71,0 ± 3,0	0,09	0,83	307 ± 9	27
316–18	Thomasmehl	2,0	6,2	6,2	51,3 ± 2,2	35,9 ± 0,6	87,2 ± 1,9	0,19	1,09	488 ± 13	22
319–21	Superphosphat	0,5	5,7	5,4	24,8 ± 1,9	20,3 ± 3,1	45,1 ± 4,9	0,14	0,89	213 ± 18	35
322–24	Superphosphat	1,0	5,7	5,4	41,7 ± 1,4	31,2 ± 1,5	72,9 ± 2,9	0,08	0,78	278 ± 16	24
325–27	Superphosphat	2,0	5,5	5,3	48,2 ± 1,4	32,8 ± 4,3	81,0 ± 5,7	0,17	1,08	438 ± 54	20

Entsprechend dem mittleren Säuregrad dieser Böden sind die Ausnutzungswerte nicht so extrem wie bei den Versuchen des Vorjahres. Auch der prozentuale Gehalt des Kornes und Strohes bewegt sich in mittleren Werten. Sonst stimmen die Ergebnisse wieder gut mit Beobachtungen des Vegetationsverlaufes überein.

Die Erträge steigen bei den einzelnen Phosphaten mit der gegebenen Menge. Während bei fast allen Phosphaten, wie schon bei der Beschreibung des Vegetationsverlaufes erwähnt, besonders

auf dem phosphorsäurearmen Moorboden die mittleren Gaben zu fast optimaler Ernte führen, also bei diesen Mengen die wurzellösliche Phosphorsäuremenge ausreichend ist, so ist dies bei dem Réno-Phosphat nicht der Fall. Die Steigerung der Düngermenge von 1,0 auf 2,0 g Gesamt-Phosphorsäure brachte bei dem Réno-Phosphat gerade die größte Erhöhung des Ertrages hervor.

Die gegebenen Phosphate sind auf dem Sandboden infolge seines an sich geringen Phosphorsäuredüngebedürfnisses, der aus dem Ertrag und den niederen Phosphorsäureaufnahmezahlen der Gefäße ohne zusätzliche Phosphorsäuredüngung hervorgeht, im allgemeinen weniger gut ausgenutzt worden als auf dem phosphorsäureärmeren Moorboden. Die Phosphorsäureausnutzung auf dem Moorboden ist bei allen Düngemitteln, wenn gleiche Gesamt-Phosphorsäuremengen verglichen werden, mit Ausnahme der Réno-Phosphate annähernd gleich. Bei den niedrigsten Gaben ist sie stets zwischen 35—40%, bei den mittleren Gaben zwischen 24—27% und den höchsten Gaben 20—25% der gegebenen Menge. Nur das Réno-Phosphat hat auf den untersuchten schwach sauren Böden weit geringere prozentuale Ausnutzungswerte zu verzeichnen, die im Gegensatz zu den anderen Phosphaten bei allen verabfolgten Düngermengen annähernd gleich hoch liegen und eine derartige Tendenz aufweisen, daß sie mit der Höhe der verabfolgten Gabe ebenfalls leicht ansteigen. Das wird seinen Grund im unterschiedlichen Wachstum der Pflanzen im Jugendstadium haben. Während die Pflanzen bei den geringsten Gaben klein und kümmerlich blieben, gestattete eine höhere Gabe den Pflanzen schon bald einen kräftigeren Wuchs, und ihr üppigeres Wurzelwerk eine verhältnismäßig weitgehendere Ausnutzung des gegebenen Phosphates.

So läßt sich zusammenfassend für die Bewertung der einzelnen Düngemittel aus den vorliegenden Versuchen folgendes feststellen:

Die Réno-Phosphate haben sich nur auf ausgesprochen humussauren Böden bewährt. Auf dem sauren Boden Königsmoor und dem sauren Sand-Torf-Gemisch haben sie sich günstig ausgewirkt und sind in hohem Maße ausgenutzt worden. Auf Böden mittlerer Azidität, oder in stärkerem Maße bei neutralen bis alkalischen Böden dagegen lieferten sie weit geringere Erträge als die Vergleichsphosphate. Ihre Ausnutzung war dann sehr gering. Eine Steigerung der an Réno-Phosphat verabfolgten Menge brachte stets auch eine starke Vermehrung des Ertrages mit sich, ein Zeichen, daß die lösliche Phosphorsäuremenge — noch immer im Minimum — für die Pflanzen nicht ausreichend ist. Auf diesen letzten Böden sind die Réno-Phosphate also nicht brauchbar.

Das Wasag-Phosphat hat sich auf den von uns herangezogenen Böden meistens gut bewährt. Es kommt in seiner Wirkung auf Ertrag und Ausnutzung, wie schon aus seinen chemischen Eigenschaften zu erwarten war, dem Superphosphat am nächsten. Auf ausgesprochen sauren Böden wie Königsmoor und dem Sand-

Torf-Gemisch fällt es im Ertrag und in der Ausnutzung etwas herab. Auf allen anderen Böden mittleren Säuregrades bis alkalischer Reaktion ist seine Wirkung im Gefäßversuch neben Superphosphat die beste von allen angewendeten Düngemitteln.

Das Lübecker Phosphat hat sich im großen und ganzen auf allen Böden gleichmäßig gut bewährt. Auf den sauersten Böden hat es infolge ausgleichender Wirkung durch den hohen basisch wirkenden Kalkgehalt hohe Erträge geliefert. Auch auf den alkalischen Böden hat es sich gut bewährt, Erträge und Ausnutzungsgrad waren verhältnismäßig hoch. Allerdings machte sich auf den mittleren Böden des Jahres 1938, besonders auf dem mineralsauren Sandboden, gegenüber den anderen Phosphaten unerwartet eine schwache Ertragsverminderung bemerkbar. Die Ausnutzung und Aufnehmbarkeit seiner P_2O_5 auf diesen mittleren Böden steht an sich den anderen Phosphaten nicht nach, wie aus dem hohen Ausnutzungsgrad der geringsten Gabe hervorgeht. Vielleicht macht sich der aus der Analyse hervorgehende hohe Kalkgehalt im Versuch mit Hafer etwas störend bemerkbar, zumal diese Pflanze als leicht azidophil zu bezeichnen ist. Bei diesen letzten Versuchen war er außerdem durch Kalziumkarbonat-Zugabe künstlich erhöht worden, um bei allen drei Gaben eine mehr oder weniger gleichmäßige Kalkwirkung zu haben.

Schlußfolgerung.

Die Einführung der geprüften Phosphorsäure-Düngemittel wird noch abhängig von dem Ausfall der angelegten Feldversuche zu machen sein. Unsere Versuche lassen jedoch — unter Hinweis auf die Ausführungen in Salzbrunn (2) — den Schluß zu, daß von den geprüften P_2O_5-Düngern das Lübecker und das Wasag-Phosphat, nicht aber die Réno-Phosphate — für deutsche Bodenverhältnisse geeignet zu sein scheinen. Die Réno-Phosphate kommen eindeutig nur für humussaure Böden in Frage.

Schrifttum.

1. Giesecke, F., G. Michael und L. Schulte: Zur kolorimetrischen Bestimmung der Phosphorsäure in Pflanzenaschen mit Hilfe des Photozellen-Kolorimeters nach Lange. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **7**, 1938, 171.
2. Giesecke, F.: Über neue Phosphorsäure-Düngemittel. Der Forschungsdienst, Berlin, Sonderheft **11**, 1938, 231—235.

[252]

Die Wirkung und Nachwirkung von neuen Phosphaten*).

Von **L. Schmitt.**

Landwirtschaftliche Versuchsstation Darmstadt.

Eingegangen: 1. Mai 1939.

Einleitung.

Neue Wege zur Herstellung von Phosphorsäuredungemitteln.

Um im Sinne des Vierjahresplanes bei der Herstellung von Phosphorsäuredungemitteln gewisse Rohstoffe wie Schwefelsäure in geringerem Ausmaße zu verwenden oder diese durch andere, im eigenen Land reichlich vorkommende Aufschlußmittel vollständig zu ersetzen, hat die deutsche Düngerindustrie in den letzten Jahren verschiedentlich neue Wege beschritten*).

Zur Ersparnis von Schwefelsäure stellt die Westfälisch-Anhaltische Sprengstoff A.-G. (Wasag) in einer neuzeitlich kontinuierlich arbeitenden Aufschlußanlage in besonderem Arbeitsgang ein Superphosphat, genannt Wasagphosphat her. Nach Mitteilung der Herstellerin entsteht hierbei unter Anwendung geringerer Schwefelsäuremengen -- wie beim Superphosphataufschluß -- als Primarprodukt Superphosphat „streufest", das im weiteren Fabrikationsgang unter Zuschlag von basisch kalkhaltigen Stoffen vollkommen neutralisiert wird. Hierdurch wird ein Phosphat erhalten, das folgende Zusammensetzung aufweist:

Gesamt-Phosphorsäure: 19,40% P_2O_5
Zitratlösliche Phosphorsäure: 17,85% P_2O_5
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure: 17,74% P_2O_5
Wasserlösliche Phosphorsäure: 14,99% P_2O_5
Freie Phosphorsäure: 0,00% P_2O_5

Im Gegensatz zum gewöhnlichen Superphosphat enthält also Wasagphosphat keine freie Phosphorsäure. Diese entsteht schon während des Aufschlusses durch das Fehlen des Schwefelsäureüberschusses in geringerer Menge wie bei dem Superphosphataufschluß und wird dazu noch infolge des basischen Zuschlages in Monokalziumphosphat übergeführt. Mangels freier Phosphorsäure setzt sich das Monokalziumphosphat teilweise um in Dikalziumphosphat.

Aus diesen Gründen weist das Wasagphosphat mit rund 15% weniger wasserlösliche Phosphorsäure auf als das gewöhnliche Superphosphat. Des weiteren reagiert eine wässerige Lösung von Wasagphosphat weniger sauer. So stellten wir in einer Lösung von 1 Teil Wasagphosphat in 100 Teilen Wasser ein p_H : 4,0 fest, wogegen Superphosphat im gleichen Lösungsverhältnis ein p_H : 2,8 aufwies.

Das Fehlen von freier Phosphorsäure soll nach den Mitteilungen der Herstellerin weiterhin von Vorteil sein für seine leichtere Mischbarkeit mit Kali- und Ammoniaksalzen und für seine gute Streufähigkeit und unbegrenzte Lagerfähigkeit. Außerdem soll ein Angriff auf das Sackmaterial nicht erfolgen.

Die Metallgesellschaft Frankfurt a. M. hat zur Darstellung eines basischen Phosphorsäuredüngers der Hochofenwerke Lübeck, im folgenden „Lübeck-Phosphat" bezeichnet, ein Verfahren entwickelt, das für den Aufschluß der Mineralphosphate Abfallstoffe verwendet. Es wurde bei der Entwicklung des Verfahrens absichtlich auf die Verwendung von Schwefelsäure verzichtet, da diese bei jedem Aufschlußverfahren als Gips festgelegt wird, der durch einen einfachen Umarbeitungsprozeß nicht wieder auf

*) Aus dem Arbeitskreis II/8 des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Dr. Giesecke, Berlin.

Schwefelsäure verarbeitet werden kann. Aus diesem Grunde wurde der Weg zur Darstellung eines Glühphosphates, das in Zukunft den Namen „M-Phosphat“ tragen soll, beschritten.

In der Technik werden solche, die Phosphorsäure in zitratlöslicher Form enthaltende Düngemittel durch einen Glühaufschluß der Mineralphosphate mit Soda und Kieselsäure hergestellt (Rhenaniaphosphat). Das Verfahren der Metallgesellschaft Frankfurt verwendet dagegen zum Aufschluß Alkalisulfat, vorzugsweise Glaubersalz, wobei das im Alkalisulfat enthaltene Alkali und der Schwefel das Phosphat in die zitratlösliche Form überführen. Das Verfahren benutzt als Reduktionsmittel vorzugsweise Braunkohlenstaub. Andere Zuschläge wie Kalk, Soda oder Kieselsäure sind nicht erforderlich.

Mit der Verwendung von Glaubersalz wird bei der Herstellung des neuen Düngemittels ein Produkt nutzbar gemacht, das bei anderen chemischen Industrien (Zellwolle, Spinnfaser, Kaliwerke, Kupferhütten) anfällt und für das ein Absatz in nur unzureichendem Maße besteht. Schwefelsäure und damit besondere Devisen werden hierbei also nicht beansprucht.

Das im Drehrohrofen, ohne Schmelzen durch einfache Sinterung bei relativ niedriger Temperatur (750–850°) herstellbare, durch die Art der Bindung des Schwefels lagerbeständige Produkt weist nach unseren Feststellungen folgende Zusammensetzung auf:

Gesamt-Phosphorsäure: 23,21% P_2O_5
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure: 19,78% P_2O_5
Zitratlösliche Phosphorsäure: 19,27% P_2O_5
Wasserlösliche Phosphorsäure: 0,23% P_2O_5
Basisch wirksame Stoffe: 18,90% (CaO).

Das neue Glühphosphat ist also als ein basisches Phosphat zu bezeichnen, dessen Phosphorsäure zu rund 86% zitronensäurelöslich und zu rund 83% zitratlöslich ist. Da der Aufschluß mit Natriumsulfat unter Verwendung von Braunkohle erfolgt, enthält „Lübeck-Phosphat“ noch etwa 23% Na_2O und 7% S. Bei der niedrigen Umsetzungstemperatur wird der im Natriumsulfat vorhandene Schwefel jedoch nicht ausgetrieben, sondern verbleibt im Produkt in einer an Phosphorsäure gebundenen Form.

In früheren Jahren hat man schon versucht, besonders weicherdige Rohphosphate in Mischung mit anderen Düngesalzen als Phosphorsäuredüngemittel für bestimmte Böden zu verwenden. Diese Versuche schlugen jedoch — mit Ausnahme der Anwendung von Rohphosphaten auf sauren Hochmoorböden — fehl. Eine ausländische Firma behauptete nun erneut, daß ihr Produkt „Hyperphosphate Réno“ diesem Ziele näher komme. Es handelte sich hier wohl um kalzinierte, in geringem Ausmaß aufgeschlossene Tunisphosphate, die nach unseren Feststellungen folgende Zusammensetzung aufwiesen:

	Réno I.	Réno II.
Gesamtphosphorsäure:	24,66% P_2O_5	29,30% P_2O_5
Zitratlösliche Phosphorsäure:	7,97% P_2O_5	10,59% P_2O_5
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure:	7,84% P_2O_5	11,98% P_2O_5
Basisch wirksame Substanz:	12,32% (CaO)	9,80% (CaO)

Etwa ein Drittel der gesamten Phosphorsäure war demnach in dem gewählten Verhältnis von Phosphat : Lösungsmittel löslich in neutraler Ammonzitratlösung und in 2%iger Zitronensäurelösung. Die anschließenden Ergebnisse unserer Vegetationsversuche werden deutlich zeigen, daß derartigen Lösungsversuchen mit Rohphosphaten kaum ein Wert beigemessen werden darf.

Wirkung und Nachwirkung der neuen Phosphate.

I. Allgemeines über die Versuchsdurchführung.

Zur Feststellung der Wirkung und Nachwirkung der besprochenen Phosphate auf das Pflanzenwachstum und den Boden wurden diese in ausgedehnten Gefäßversuchen mit den bekannten

„Standard-Phosphaten" Thomasmehl und Superphosphat verglichen. Um einen Überblick über die chemische Zusammensetzung zu gewähren, sind in nächster Übersicht 1 nochmals die Befunde unserer chemischen Untersuchungen zusammengestellt:

Übersicht 1.

Chemische Zusammensetzung und Reaktion der geprüften Phosphate.

Lfd. Nr.	Name des Phosphates	Phosphorsäure-Gehalt (%) löslich in				Basisch wirkende Substanz % (CaO)	pH 1 Teil Phosphat: 100 Teilen Wasser
		Gesamt	Ammonzitratlösung	Zitronensaure	Wasser		
1	Wasagphosphat	19,40	17,85	17,74	14,99	0	4,6
2	Lübeckphosphat	23,21	19,27	19,78	0,23	18,90	9,4
3	Rénophosphat I	24,66	7,97	7,84	0,00	12,32	7,5
4	Rénophosphat II	29,30	10,59	11,98	0,00	9,80	7,1
5	Thomasmehl	18,27	—	17,28	—	30,80	8,8
6	Superphosphat	18,97	—	—	17,95	0	2,8

Bei der großen Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit der Phosphate von dem Kalk- und Reaktionszustand des Bodens war es notwendig, die neuen Phosphate bei verschiedenen Reaktionsverhältnissen zu prüfen.

Aus diesem Grund wurde im Jahre 1937 beim Einleiten der Versuche zur Ermittelung der Phosphorsäurewirkung der stark saure Sandboden von Darmstadt benutzt. In der 1. Reihe blieb der Boden ohne Kalkdüngung, in der 2. Reihe wurden zur Abstumpfung der Austauschsäure je Gefäß mit 7,0 kg Boden 2,529 g $CaCO_3$ und in der 3. Reihe zur Erreichung des Neutralpunktes je Gefäß 5,649 g $CaCO_3$ verabfolgt. Die Reaktionsverhältnisse des Versuchsbodens sind aus folgenden Zahlen zu entnehmen: 7,2 ccm Gesamtaustauschsäure, 16,1 ccm hydrolytische Säure ($y_1 \cdot 2$), pH(KCl) : 4,3.

In der Grunddüngung erhielten alle Gefäße 1,5 g K_2O als 40er Kalidüngesalz und 1,2 g N in Form von schwefelsaurem Ammoniak. Die notwendige Kalkdüngung wurde in den Reihen 2 und 3 am 7. April 1937 durch inniges Vermischen mit dem Sandboden verabreicht. Die Phosphorsäure kam in 3 steigenden Gaben: 0,3; 0,6 und 0,9 g P_2O_5 unter Zugrundelegung des Gesamtphosphorsäuregehaltes der verschiedenen Phosphate zur Anwendung. Drei Tage nach der Kalkdüngung wurde die NPK-Düngung in der üblichen Weise mit dem Versuchsboden vermischt. Nach Verabreichung von 500 ccm destilliertem Wasser wurden am 10. April 1937 je Gefäß (Wagnersche Vegetationsgefäße 20 : 20 cm) 28 Haferkörner eingelegt. Es handelte sich um Strubes Gelbhafer, gebeizt mit Germisan, der eine Keimfähigkeit von 98% aufwies. Die Haferpflanzen liefen in den ersten Maitagen gleichmäßig gut auf und zeigten im späteren Verlauf die bei den einzelnen Phosphaten beschriebenen Wachs-

tumsunterschiede. Die Ernte der gesamten Versuchsreihe (V.R. 334) mit 171 Gefäßen wurde am 19. Juli vorgenommen.

Nach der Ernte des Hafers wurden die Gefäße umgebrochen und am 25. August als Nachfrucht Landsberger Gemenge eingesät. Da die Nachwirkung der im Jahre 1937 gegebenen Phosphorsäuredüngung geprüft werden sollte, wurde keine Phosphorsäuredüngung mehr verabfolgt. Es bekamen lediglich alle Gefäße einige Tage vor der Saat und am 14. März 1938 je 0,5 g Stickstoff in Form von Ammonnitrat. Das Landsberger Gemenge überwinterte in unseren ungeheizten Glashallen sehr gut und lieferte am 10. Juni und 20. Juli 1938 zwei befriedigende Schnitte. Zur Feststellung des Phosphorsäureausnutzungsgrades wurden der Hafer (Stroh und Körner) und das Landsberger Gemenge auf ihren Gehalt an Phosphorsäure untersucht. Nach der Ernte der Nachfrucht wurden außerdem zur Prüfung des Einflusses der Phosphate auf die Reaktionsverhältnisse des stets mit destilliertem Wasser versehenen Bodens entsprechende Bodenproben genommen und auf Austauschsäure, hydrolytische Säure und p_H(KCl) untersucht.

II. Die Ergebnisse der Gefäßversuche in den Jahren 1937 und 1938.

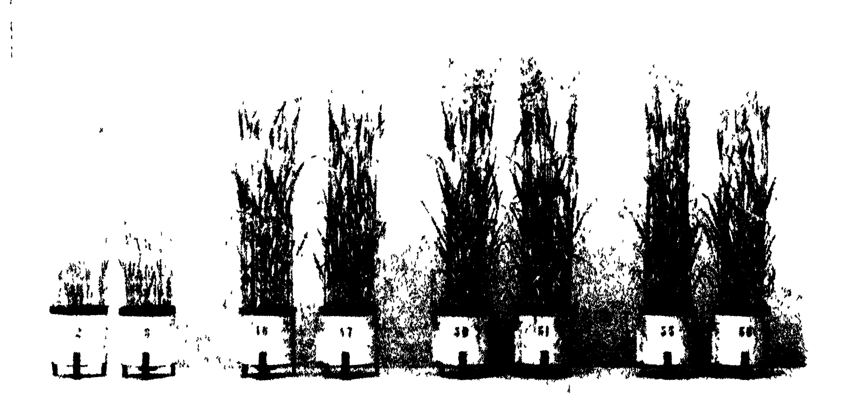
1. Die Wirkung und Nachwirkung von „Wasagphosphat" in der Versuchsreihe 334 auf das Pflanzenwachstum und die Reaktion des Bodens.

Der Wachstumsverlauf der Versuche stand naturgemäß unter steter Überwachung.

Am 13. Mai 1937 konnten in der Phosphorsäurewirkung zwischen Wasagphosphat und den beiden Standardphosphaten keine wesentlichen Unterschiede beobachtet werden, obwohl schon Phosphorsäurewirkungen vorhanden waren. Auch waren in der 1. Reihe: ohne Kalk zwischen einfacher, doppelter und dreifacher P_2O_5-Gabe noch keine Unterschiede festzustellen. In der 2. und 3. Reihe: mit Kalk war jedoch schon die Entwicklung besser als in der 1. Reihe: ohne Kalk. Am 26. Mai bestanden in der 1. Reihe: ohne Kalk deutliche Unterschiede zwischen einfacher und doppelter P_2O_5-Gabe. Die dreifache P_2O_5-Gabe hatte noch keine weitere Steigerung gebracht. Das Wasagphosphat hatte bis zu diesem Zeitpunkt das Wachstum der Pflanzen ähnlich günstig beeinflußt wie das Superphosphat und Thomasmehl. Auch in den beiden Reihen mit Kalk waren wesentliche Unterschiede zwischen einfacher und doppelter P_2O_5-Gabe eingetreten. Auch schien die dreifache Gabe bei reichlicher Kalkversorgung des Bodens das Wachstum der Pflanzen weiter günstig zu beeinflußen.

Am 7. Juni fing der Hafer an zu schossen. Es zeigte sich jedoch hierbei, daß die Ähren auf den Gefäßen ohne Phosphorsäure wesentlich später schlüpften, als auf den Gefäßen mit Phosphorsäure. Ein Unterschied zwischen den 3 Phosphaten bestand jedoch auch in dieser Hinsicht nicht.

Bild 1.
Wirkung von Wasagphosphat.



1. Reihe: Ohne Kalk.

Ohne P_2O_5 — 0,9 g Phosphorsäure als: Superphosphat — Thomasmehl — Wasagphosphat

Bild 2.
Wirkung von Wasagphosphat.



2. Reihe: Mit Kalk (pH : 5,5).

Ohne P_2O_5 — 0,9 g Phosphorsäure als: Superphosphat — Thomasmehl — Wasagphosphat

Am 23. Juni, dem ungefähren Höhepunkt, bot sich dem Beschauer das in den Abbildungen 1—3 festgehaltene Bild über die Wirkung von Wasagphosphat (0,9 g P_2O_5-Gefäß) auf das Wachstum des Hafers bei verschiedener Reaktion des Bodens (Abbildung 1—3).

Bild 3.
Wirkung von Wasagphosphat.



3. Reihe: Mit Kalk (pH : 7,0).
Ohne P_2O_5 — 0,9 g Phosphorsäure als: Superphosphat — Thomasmehl — Wasagphosphat

Die am 19. Juli erfolgte Haferernte lieferte folgende Ergebnisse:

Übersicht 2.

a 1. Wirkung von Wasagphosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,7	1,8	—	—	0,165	0,637	—
2	Superphosphat	0,3	22,9	8,7	14,2	6,9	0,143	0,579	19
3	Thomasmehl	0,3	24,1	10,0	15,4	8,2	0,134	0,592	22
4	Wasagphosphat	0,3	19,2	8,2	10,5	6,4	0,130	0,557	15
5	Superphosphat	0,6	28,0	18,5	19,3	16,7	0,101	0,494	16
6	Thomasmehl	0,6	33,4	22,0	24,7	20,2	0,094	0,516	20
7	Wasagphosphat	0,6	29,4	18,1	20,7	16,3	0,115	0,534	17
8	Superphosphat	0,9	31,1	18,0	22,4	16,2	0,114	0,669	14
9	Thomasmehl	0,9	41,2	25,4	32,5	23,6	0,086	0,568	17
10	Wasagphosphat	0,9	32,2	21,7	23,5	19,9	0,090	0,569	14

Auf dem stark sauren Sandboden wirkte das Wasagphosphat ähnlich wie das Superphosphat. Beide Phosphate konnten jedoch bei dem ungünstigen Kalkzustand des Bodens das alkalische Thomasmehl nicht in seiner ertragssteigernden Wirkung erreichen.

Die am 10. Juni und 20. Juli 1938 zur Prüfung der P_2O_5-Nachwirkung genommenen beiden Schnitte der Nachfrucht Landsberger Gemenge lieferten die in Übersicht 3 zusammengestellten Ergebnisse.

Übersicht 3.

a 2. Nachwirkung von Wasagphosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	II. Schnitt	Sa. I.+II.	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I.	II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	2,6	1,7	4,3	—	0,18	0,27	—
Superphosphat	0,3	16,3	16,6	32,9	28,6	0,22	0,25	23
Thomasmehl	0,3	16,7	13,8	30,5	26,2	0,21	0,23	19
Wasagphosphat	0,3	23,5	16,9	40,4	36,1	0,20	0,21	25
Superphosphat	0,6	23,6	18,8	42,4	38,1	0,22	0,25	15
Thomasmehl	0,6	22,8	18,0	40,8	36,5	0,23	0,27	15
Wasagphosphat	0,6	26,3	18,5	44,8	40,5	0,19	0,27	15
Superphosphat	0,9	27,2	19,6	46,8	42,5	0,20	0,30	11
Thomasmehl	0,9	29,4	19,7	49,1	44,8	0,22	0,27	12
Wasagphosphat	0,9	29,5	18,4	47,9	43,6	0,21	0,32	12

Die Phosphorsäurenachwirkung war allgemein als gut zu bezeichnen. Auffallend gut war jedoch die des Wasagphosphats, konnte dieser Dünger doch bei Anwendung von 0,3 g P_2O_5 fast 10 g Trockensubstanz mehr erzielen als das Thomasmehl Auch bei Anwendung von 0,6 g P_2O_5 war das neue Phosphat den Vergleichsdüngern in der Nachwirkung deutlich überlegen.

Die Wirkung und Nachwirkung des Wasagphosphats auf dem austauschsäurefreien Boden (2. Reihe: Mit Kalk) ist aus den Übersichten 4 und 5 ersichtlich.

Übersicht 4.

b 1. Wirkung von Wasagphosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 5,5).
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,3	1,0	—	—	0,177	0,647	—
2	Superphosphat	0,3	27,7	12,0	19,4	11,0	0,113	0,616	28
3	Thomasmehl	0,3	29,7	17,3	21,4	16,3	0,078	0,453	27
4	Wasagphosphat	0,3	32,1	16,1	23,8	15,1	0,075	0,587	33
5	Superphosphat	0,6	41,2	27,0	32,9	26,0	0,058	0,586	27
6	Thomasmehl	0,6	44,1	27,1	35,8	26,1	0,067	0,478	23
7	Wasagphosphat	0,6	40,7	24,2	32,4	23,2	0,050	0,483	19
8	Superphosphat	0,9	47,7	31,2	39,4	30,2	0,062	0,587	21
9	Thomasmehl	0,9	49,4	33,9	41,1	32,9	0,055	0,485	19
10	Wasagphosphat	0,9	45,8	31,9	37,5	30,9	0,051	0,637	23

In der 2. Reihe, in welcher der Versuchsboden soviel Kalk erhielt, um die Austauschazidität zur Abstumpfung zu bringen,

lieferte das Superphosphat bei Anwendung von 0,3 g P_2O_5 etwas geringere Erträge als Wasagphosphat, bei 0,6 g P_2O_5 lagen die Verhältnisse umgekehrt, während sodann bei der stärksten Gabe sich keine Unterschiede in der Wirkung der beiden Phosphate ergaben. Der Hafer nutzte die Phosphorsäuredüngung in allen Formen sehr gut aus.

Übersicht 5.

b 2. Nachwirkung von Wasagphosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk. (Einstellen des Bodens auf pH: 5,5). Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	II. Schnitt	Sa. I.+II.	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I.	II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	3,5	2,5	6,0	—	0,16	0,28	—
Superphosphat	0,3	19,7	17,3	37,0	31,0	0,20	0,21	21
Thomasmehl	0,3	21,6	14,6	36,2	30,2	0,19	0,20	19
Wasagphosphat	0,3	24,6	15,0	39,2	33,2	0,18	0,24	22
Superphosphat	0,6	31,0	18,5	49,5	43,5	0,21	0,26	17
Thomasmehl	0,6	29,7	18,3	48,0	42,0	0,22	0,26	17
Wasagphosphat	0,6	27,1	17,6	44,7	38,7	0,23	0,30	17
Superphosphat	0,9	30,3	18,6	48,9	42,9	0,30	0,30	15
Thomasmehl	0,9	28,8	19,1	47,9	41,9	0,30	0,31	15
Wasagphosphat	0,9	24,6	19,5	44,1	38,1	0,22	0,32	11

Die Phosphorsäurenachwirkung war also auch in der 2. Reihe: Mit Kalk, befriedigend. Das Wasagphosphat konnte bei der geringsten P_2O_5-Gabe wohl die beiden Standardphosphate überflügeln, mußte jedoch bei den stärkeren Gaben die Führung an dieses abtreten.

Die Wirkung und Nachwirkung des Wasagphosphats auf dem nach der hydrolytischen Säure gekalkten Boden (3. Reihe: Mit Kalk) läßt sich aus den folgenden Übersichten 6 und 7 ersehen.

Auch in der 3. Reihe vermochte das Wasag-Phosphat bei etwa neutralem Reaktionszustand des Bodens nicht nur die gleichen Wirkungen zu erzielen wie Superphosphat und Thomasmehl, sondern es war den genannten Phosphaten bei Verabreichung von 0,3 g und 0,6 g P_2O_5 sogar etwas überlegen.

Bei Anwendung der beiden geringen P_2O_5-Gaben ergab sich in der Nachwirkung zwischen Wasag-Phosphat und den beiden Standard-Phosphaten kein Unterschied, während die zuletzt genannten bei 0,9 g P_2O_5 etwas besser als das neue Phosphat abschnitten.

Einen Überblick über die Gesamt-Wirkung der miteinander verglichenen Phosphate gewährt folgende Übersicht:

Nach der vorstehenden Zusammenstellung über die Gesamtwirkung von Wasagphosphat in den Jahren 1937/38 hat das

Übersicht 6.

c 1. Wirkung von Wasagphosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 7,0).
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	9,0	1,1	—	—	0,160	0,742	—
2	Superphosphat	0,3	30,3	18,3	21,3	17,2	0,106	0,571	38
3	Thomasmehl	0,3	30,3	19,0	21,3	17,9	0,076	0,585	37
4	Wasagphosphat	0,3	32,4	21,8	23,4	20,7	0,071	0,541	39
5	Superphosphat	0,6	39,6	29,1	30,6	28,0	0,057	0,561	27
6	Thomasmehl	0,6	40,0	29,7	31,0	28,6	0,053	0,550	27
7	Wasagphosphat	0,6	43,3	31,6	34,3	30,5	0,061	0,551	30
8	Superphosphat	0,9	44,6	30,9	35,6	29,8	0,082	0,737	27
9	Thomasmehl	0,9	47,0	31,6	38,0	30,5	0,065	0,683	25
10	Wasagphosphat	0,9	47,9	31,6	38,9	30,5	0,082	0,745	28

Übersicht 7.

c 2. Nachwirkung von Wasagphosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 7,0).
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsaure in Form von:	P_2O_5 g	Ertrage (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	Mittelertrag II. Schnitt	Sa. I.+II.	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I.	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	5,8	4,8	10,6	—	0,17	0,26	—
Superphosphat	0,3	20,3	13,3	33,6	23,0	0,18	0,25	16
Thomasmehl	0,3	21,9	12,8	34,7	24,1	0,18	0,26	16
Wasagphosphat	0,3	20,7	13,1	33,8	23,2	0,19	0,22	15
Superphosphat	0,6	25,9	18,9	44,8	34,2	0,23	0,25	14
Thomasmehl	0,6	28,6	19,2	47,8	37,2	0,22	0,23	14
Wasagphosphat	0,6	29,4	19,0	48,4	37,8	0,20	0,24	14
Superphosphat	0,9	32,5	19,3	51,8	41,2	0,23	0,29	12
Thomasmehl	0,9	33,6	17,5	51,1	40,5	0,29	0,35	15
Wasagphosphat	0,9	28,9	19,7	48,6	38,0	0,24	0,35	13

neue Phosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk bessere Leistungen erzielt als das Superphosphat. Bei Anwendung von 0,3 g P_2O_5 war es auch dem Thomasmehl überlegen, wogegen der zuletzt genannte Dünger bei Verabreichung der stärkeren Phosphatgabe das Wasagphosphat übertraf.

In der 2. und 3. Reihe: Mit Kalk konnte das Wasag-Phosphat bei 0,3 g P_2O_5 beide Standardphosphate in ihrer ertragssteigernden Wirkung und im Phosphorsäure-Ausnutzungsgrad überflügeln, um jedoch bei Anwendung der stärkeren Gabe die Führung in 2 Fällen an diese abzugeben.

Übersicht 8.

Zusammenfassung der 1937/38 erzielten Mehrerträge und der Phosphorsäure-Ausnutzung.

Düngemittel	P_2O_5 g	1. Reihe: Ohne Kalk: Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5): Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0): Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %
Superphosphat	0,3	49,7	100	42	61,4	100	49	61,5	100	54
Thomasmehl		49,8	100	41	67,9	111	46	63,3	103	53
Wasagphosphat		53,3	107	40	72,1	117	55	67,3	109	54
Superphosphat	0,6	74,1	100	31	102,4	100	44	92,8	100	41
Thomasmehl		81,4	110	35	103,9	101	40	96,8	104	41
Wasagphosphat		78,1	105	32	94,3	92	36	102,6	111	44
Superphosphat	0,9	81,1	100	25	112,5	100	36	106,6	100	39
Thomasmehl		100,9	124	29	115,9	103	34	109,0	102	40
Wasagphosphat		87,9	108	26	106,5	95	34	107,4	101	41

Die Reaktionsmessungen nach der Ernte der Nachfrucht zur Prüfung des Einflusses des Wasagphosphats auf die Bodenreaktion führten zu folgenden Ergebnissen:

Übersicht 9.

Reaktion der Böden des Gefäß-Versuchs Nr. 334 am Ende des Jahres 1938 nach verschiedener Phosphatdüngung.

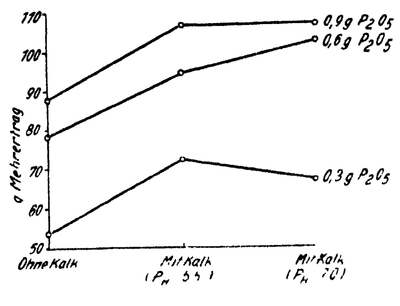
Düngemittel	P_2O_5	1. Reihe: Ohne Kalk			2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5)			3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0)		
	g	A. A.*	H. A.*	pH*	A. A.	H. A.	pH	A. A.	H. A.	pH
Ohne P_2O_5	—	1,0	6,1	4,8	0,8	5,6	4,9	0,5	4,5	5,4
Superphosphat	0,3	0,2	4,6	5,2	0,5	4,8	5,1	—	3,0	6,1
Thomasmehl		—	4,5	5,5	—	3,7	5,5	—	2,3	6,4
Wasagphosphat		—	5,1	5,4	—	3,2	6,0	—	3,2	5,8
Superphosphat	0,6	—	4,2	5,5	—	3,6	5,9	—	3,2	6,2
Thomasmehl		—	3,6	5,9	—	3,0	6,3	—	2,4	6,5
Wasagphosphat		—	4,1	5,4	—	2,8	5,9	—	3,0	6,3
Superphosphat	0,9	—	4,0	5,6	—	3,8	5,9	—	2,7	6,4
Thomasmehl		—	4,0	5,6	—	2,3	6,4	—	2,2	6,7
Wasagphosphat		—	5,0	5,5	—	4,7	5,7	—	2,3	6,5

*) A. A. = Austausch-Azidität (y_1)
H. A. = Hydrolytische Azidität (y_1)
pH in n/1 KCl Bodensuspension.

Nach unseren Reaktionsmessungen ist das Wasag-Phosphat in bezug auf seine physiologischen Reaktionseigenschaften ähnlich zu bewerten wie das Superphosphat, d. h. es gehört in die Reihe der physiologisch neutralen Phosphate. Ebenso wie diese

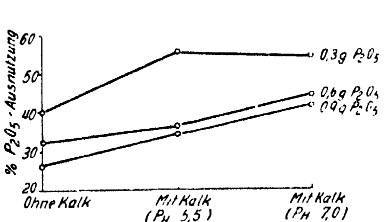
entfaltet das Wasagphosphat (s. Abbildung 4) seine höchste Wirkungsfähigkeit erst bei geregeltem Kalkzustand des Bodens.

Einen noch besseren Einblick in die Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit des Wasagphosphats von dem Kalk- und Reaktionszustand des Bodens gewährt Kurvenbild 1. Danach wurde der höchste Mehrertrag (A) und die beste Phosphorsäure-Aus-



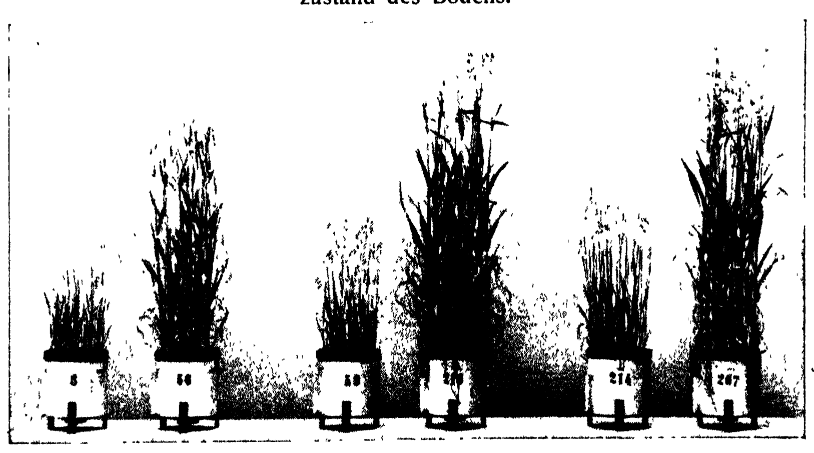
Kurvenbild 1.
Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit des Wasagphosphat von dem Kalkzustand des Bodens.

A. Einfluß auf den Mehrertrag.



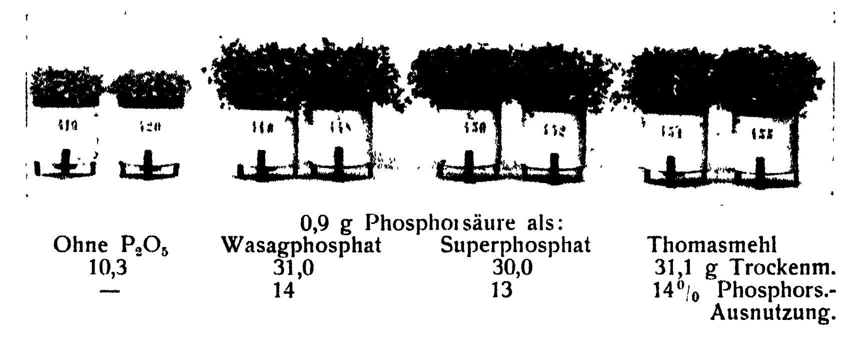
B. Einfluß auf die Phosphorsäureausnutzung.

Bild 4.
Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit von Wasagphosphat vom Reaktionszustand des Bodens.



	1. Reihe: Ohne Kalk		2. Reihe: Mit Kalk		3. Reihe: Mit Kalk	
pH:		4,3	5,5		7,0	
Ernte:	10,5	53,9	9,3	77,7	10,1	79,5 g
P_2O_5-Ausnutzg.		14%		23%		28%

Bild 5.
Wirkung von Wasagphosphat zu Rotklee.



	0,9 g Phosphorsäure als:			
Ohne P_2O_5	Wasagphosphat	Superphosphat	Thomasmehl	
10,3	31,0	30,0	31,1	g Trockenm.
—	14	13	14	% Phosphors.-Ausnutzung.

Bild 6.
Wirkung von Lübeckphosphat.



1. Reihe: Ohne Kalk.
0,9 g Phosphorsäure als:
Ohne P_2O_5 Superphosphat Thomasmehl Lübeckphosphat

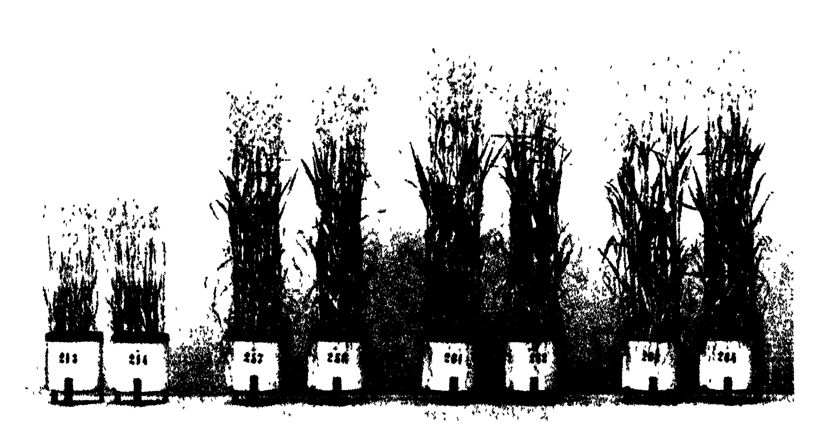
nutzung (B) stets bei neutralem Reaktionszustand des Versuchsbodens erzielt. Nur das 0,3 g P_2O_5-Gabegefäß machte eine Ausnahme. Es muß hier angenommen werden, daß die — im Vergleich zur Phosphorsäuregabe — sehr hohe Kalkmenge einen beträchtlichen Teil der Phosphorsäure „blockierte“, diese also ins Minimum geraten ließ, so daß sich ein geringerer Mehrertrag und Ausnutzungsgrad ergab als bei der geringeren Kalkgabe. Die sogenannte „Harmonie der Nährstoffe“ war also in diesem Falle gestört. Die Wirkungsfähigkeit der Kalkdüngung hängt somit auch von dem Phosphorsäuredüngungszustand — wie überhaupt von dem ausreichenden Vorhandensein der übrigen Nährstoffe — ab.

Bild 7.
Wirkung von Lübeckphosphat.



2. Reihe: Mit Kalk (pH : 5,5).
0,9 g Phosphorsäure als:
Ohne P_2O_5 Superphosphat Thomasmehl Lübeckphosphat

Bild 8.
Wirkung von Lübeckphosphat.



3. Reihe: Mit Kalk (pH : 7,0).
0,9 g Phosphorsäure als:
Ohne P_2O_5 Superphosphat Thomasmehl Lübeckphosphat

1a. Die Wirkung von „Wasagphosphat" in der Gefäßversuchsreihe 335 auf das Wachstum von Rotklee.

Eine zweite Gefäßversuchsreihe wurde auf einem kalkhaltigen phosphorsäurearmen Niederungsmoorboden mit Rotklee angestellt. Alle Gefäße erhielten die gleiche Grunddüngung wie in der

Versuchsreihe Nr. 334. Ursprünglich trugen die Gefäße ebenfalls Hafer. Wegen starken Befalls mit Fritfliege mußte jedoch die Reihe umgebrochen und am 7. Mai mit Rotklee eingesät werden. Der Klee entwickelte sich sodann vollständig normal. Es zeigten sich außerordentlich deutliche Unterschiede zugunsten der Phosphorsäuredüngung (s. Abbildung 5). Innerhalb der 3 Phosphate traten jedoch keine Wachstumsunterschiede auf. Der Rotklee wurde am 22. Juni geerntet. Hierbei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Übersicht 10.

Ergebnisse der Versuchsreihe 335 mit Rotklee auf Niederungsmoorboden.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz Mittelertrag	Mehrertrag	%-Gehalt an P_2O_5	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	10,3	—	0,320	—
2	Superphosphat	0,3	22,1	11,8	0,435	21
3	Thomasmehl		22,1	11,8	0,422	20
4	Wasagphosphat		20,9	10,6	0,411	18
5	Superphosphat	0,6	27.6	17,3	0,475	16
6	Thomasmehl		27.8	17,5	0,508	18
7	Wasagphosphat		27,2	16,9	0,539	19
8	Superphosphat	0,9	30,0	19,7	0,503	13
9	Thomasmehl		31,1	20,8	0,509	14
10	Wasagphosphat		31,0	20,7	0,504	14

Auf dem von Natur aus kalkhaltigen Niederungsmoorboden erzielte das Wasagphosphat zu Rotklee gleich gute Wirkung wie die beiden Standardphosphate Superphosphat und Thomasmehl.

2. Die Wirkung und Nachwirkung von „Lübeckphosphat" in der Versuchsreihe 334 auf das Pflanzenwachstum und die Reaktion des Bodens.

Über den Wachstumsverlauf der Versuche mit Hafer ist im wesentlichen das gleiche zu sagen wie bei denen mit Wasagphosphat. Es bestand (s. Abbildungen 6—8) zwischen Lübeckphosphat und den beiden Vergleichsphosphaten praktisch kein Unterschied in dem wachstumsfördernden Einfluß.

Die am 19. Juli vorgenommene Haferernte ergab die in Übersicht 11 verzeichneten Ergebnisse:

Das Lübeckphosphat vermochte somit auf dem stark sauren Sandboden etwas besser zu wirken als das Superphosphat. Das Thomasmehl konnte jedoch in seiner ertragssteigernden Wirkung nicht ganz erreicht werden.

Die Nachwirkung des neuen Phosphats auf das Wachstum des Landsberger Gemenges ergibt sich aus Übersicht 12.

Die Nachwirkung der im Jahr 1937 gegebenen Phosphorsäuredüngung war demnach selbst auf dem sauren Sandboden gut. Auch in dieser Hinsicht kam das Lübeckphosphat den beiden Standardphosphaten gleich.

Übersicht 11.

a 1. Wirkung von Lübeckphosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,7	1,8	—	—	0,17	0,64	—
2	Superphosphat	0,3	22,9	8,7	14,2	6,9	0,14	0,58	19
3	Thomasmehl	0,3	24,1	10,0	15,4	8,2	0,13	0,59	22
4	Lübeckphosphat	0,3	21,0	8,0	12,3	6,2	0,15	0,54	16
5	Superphosphat	0,6	28,0	18,5	19,3	16,7	0,10	0,49	16
6	Thomasmehl	0,6	33,4	22,0	24,7	20,2	0,09	0,52	20
7	Lübeckphosphat	0,6	32,8	19,6	24,1	17,8	0,10	0,58	20
8	Superphosphat	0,9	31,1	18,0	22,4	16,2	0,11	0,67	14
9	Thomasmehl	0,9	41,2	25,4	32,5	23,6	0,09	0,57	17
10	Lübeckphosphat	0,9	38,4	24,2	29,7	22,4	0,07	0,47	13

Übersicht 12.

a 2. Nachwirkung von Lübeckphosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Lfd. Nr.	Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	Mittelertrag II. Schnitt	Sa. I.+II.	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I. Schnitt	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte II. Schnitt	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	2,6	1,7	4,3	—	0,184	0,272	—
2	Superphosphat	0,3	16,3	16,6	32,9	28,6	0,216	0,253	23
3	Thomasmehl	0,3	16,7	13,8	30,5	26,2	0,209	0,234	19
4	Lübeckphosphat	0,3	17,4	15,1	32,5	28,2	0,207	0,234	21
5	Superphosphat	0,6	23,6	18,8	42,4	38,1	0,224	0,252	15
6	Thomasmehl	0,6	22,8	18,0	40,8	36,5	0,226	0,273	15
7	Lübeckphosphat	0,6	23,5	18,9	42,4	38,1	0,189	0,249	14
8	Superphosphat	0,9	27,2	19,6	46,8	42,5	0,200	0,296	11
9	Thomasmehl	0,9	29,4	19,7	49,1	44,8	0,216	0,270	12
10	Lübeckphosphat	0,9	28,3	17,9	46,2	41,9	0,202	0,270	11

Die Wirkung und Nachwirkung des Lübeckphosphats auf dem von Austauschsäure freien Boden (2. Reihe: mit Kalk) folgt aus den Übersichten 13 und 14.

Erhielt der Versuchsboden soviel Kalk, um die Austauschazidität zur Abstumpfung zu bringen, dann brachte das Lübeckphosphat praktisch die gleichen Erträge wie das Superphosphat und das Thomasmehl.

Nach der Ernte des Hafers wurden die Gefäße genau so behandelt wie die der Reihe a 1 bzw. a 2. Auch wurde keine neue Kalkdüngung verabfolgt.

Es stellten sich in der 2. Reihe mit der Kalkgabe nach der Austauschsäure bezüglich der Nachwirkung folgende Ernteergebnisse ein:

Übersicht 13.

b 1. Wirkung von Lübeckphosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 5,5.)
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,3	1,0	—	—	0,18	0,65	—
2	Superphosphat	0,3	27,7	12,0	19,4	11,0	0,11	0,62	28
3	Thomasmehl	0,3	29,7	17,3	21,4	16,3	0,08	0,45	27
4	Lübeckphosphat	0,3	26,8	13,4	18,5	12,4	0,08	0,47	21
5	Superphosphat	0,6	41,2	27,0	32,9	26,0	0,06	0,59	27
6	Thomasmehl	0,6	44,1	27,1	35,8	26,1	0,07	0,48	23
7	Lübeckphosphat	0,6	44,4	29,6	36,1	28,6	0,05	0,53	26
8	Superphosphat	0,9	47,7	31,2	39,4	30,2	0,06	0,59	21
9	Thomasmehl	0,9	49,4	33,9	41,1	32,9	0,06	0,49	19
10	Lübeckphosphat	0,9	49,0	31,0	40,7	30,0	0,07	0,59	22

Übersicht 14.

b 2. Nachwirkung von Lübeckphosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 5,5.)
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Lfd. Nr.	Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	Mittelertrag II. Schnitt	Sa. I+II	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I. Schnitt	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte II. Schnitt	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	3,5	2,5	6,0	—	0,160	0,284	—
2	Superphosphat	0,3	19,7	17,3	37,0	31,0	0,198	0,211	21
3	Thomasmehl	0,3	21,6	14,6	36,2	30,2	0,193	0,204	19
4	Lübeckphosphat	0,3	21,3	17,8	39,1	33,1	0,198	0,198	21
5	Superphosphat	0,6	31,0	18,5	39,5	43,5	0,208	0,264	17
6	Thomasmehl	0,6	29,7	18,3	38,0	42,0	0,222	0,260	17
7	Lübeckphosphat	0,6	27,5	17,0	44,5	38,5	0,200	0,264	15
8	Superphosphat	0,9	30,3	18,6	48,9	42,9	0,296	0,296	15
9	Thomasmehl	0,9	28,8	19.1	47,9	41,9	0,296	0,310	15
10	Lübeckphosphat	0,9	26,1	17,9	44,0	38,0	0,249	0,322	12

Wurde im Jahr 1937 dem sauren Sandboden soviel an Kalk gegeben, daß die gefährlichste Säureform, die Austauschsäure, weitgehend abgestumpft wurde, dann war die Nachwirkung des Lübeckphosphates beim 0,3 g P_2O_5-Gefäß am besten, auf den Gefäßen mit 0,6 und 0,9 g P_2O_5 jedoch geringer als bei Superphosphat und Thomasmehl.

Die Wirkung und Nachwirkung des Lübeckphosphates in der 3. Reihe: Mit Kalk, in welcher der Versuchsboden nach der hydrolytischen Azidität gekalkt worden war, ergibt sich aus den Übersichten 15 und 16.

In der Reihe c 1 erzielte das Lübeckphosphat bei neutralem Reaktionszustand des Versuchsbodens ebenfalls die gleichen Wirkungen wie die beiden mit ihm verglichenen Standardphosphate. Auch hier erhielten die Gefäße beim Umbruch und bei der Neueinsaat von Landsberger Gemenge keine neue Phosphorsäure- und Kalkdüngung.

Die Nachwirkung der geprüften Phosphate bei neutraler Bodenreaktion stellte sich wie folgt:

Übersicht 15.

c 1. Wirkung von Lübeckphosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 7,0.)
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5	Erträge (g) an Trockensubstanz				P_2O_5 (%) in		P_2O_5-Ausnutzung
			Mittelertrag		Mehrertrag				
		g	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	%
1	Ohne P_2O_5	—	9,0	1,1	—	—	0,16	0,74	—
2	Superphosphat	0,3	30,3	18,3	21,3	17,2	0,11	0,57	38
3	Thomasmehl	0,3	30,3	19,0	21,3	17,9	0,08	0,59	37
4	Lübeckphosphat	0,3	29,6	18,9	20,6	17,8	0,07	0,54	33
5	Superphosphat	0,6	39,6	29,1	30,6	28,0	0,06	0,56	27
6	Thomasmehl	0,6	40,0	29,7	31,0	28,6	0,05	0,55	27
7	Lübeckphosphat	0,6	43,6	31,0	34,6	29,9	0,05	0,49	25
8	Superphosphat	0,9	44,6	30,9	35,6	29,8	0,08	0,74	27
9	Thomasmehl	0,9	47,0	31,6	38,0	30,5	0,07	0,68	25
10	Lübeckphosphat	0,9	47,8	31,0	38,8	29,9	0,08	0,70	26

Übersicht 16.

c 2. Nachwirkung von Lübeckphosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH : 7,0.) Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Lfd. Nr.	Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz				P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte		P_2O_5-Ausnutzung %
			Mittelertrag		Sa. I+II	Mehrerträge			
			I. Schnitt	II. Schnitt			I. Schnitt	II. Schnitt	
1	Ohne P_2O_5	—	5,8	4,8	10,6	—	0,173	0,264	—
2	Superphosphat	0,3	20,3	13,3	33,6	23,0	0,184	0,246	16
3	Thomasmehl	0,3	21,9	12,8	34,7	24,1	0,175	0,264	16
4	Lübeckphosphat	0,3	18,6	12,6	31,2	20,6	0,178	0,279	15
5	Superphosphat	0,6	25,9	18,9	44,8	34,2	0,231	0,250	14
6	Thomasmehl	0,6	28,6	19,2	47,8	37,2	0,224	0,232	14
7	Lübeckphosphat	0,6	27,0	17,4	44,4	33,8	0,198	0,256	13
8	Superphosphat	0,9	32,5	19,3	51,8	41,2	0,226	0,287	12
9	Thomasmehl	0,9	33,6	17,5	51,1	40,5	0,287	0,353	15
10	Lübeckphosphat	0,9	28,8	17,3	46,1	35,5	0,258	0,310	12

Wenn auch in der 2. Kalkreihe das Lübeckphosphat in seiner Nachwirkung nicht ganz die beiden Vergleichsphosphate zu erreichen vermochte, so war dieselbe doch als recht gut zu be-

zeichnen, besonders wenn man berücksichtigt, daß in den abgelaufenen 5 letzten Versuchsjahren, in welchen wir viel neue Phosphate zu prüfen hatten, eigentlich recht wenig neue Phosphorsäuredünger in ihrer Wirkung und Nachwirkung an Thomasmehl und Superphosphat herankamen.

Einen Überblick über die Gesamtwirkung der geprüften Phosphate gewährt folgende Übersicht:

Übersicht 17.

Zusammenfassung der Mehrerträge 1937/38 und der Phosphorsäureausnutzung.

Düngemittel	P_2O_5	1. Reihe: Ohne Kalk			2. Reihe: Mit Kalk (pH : 5,5)			3. Reihe: Mit Kalk (pH : 7,0)		
	g	Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	Gesamt-mehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %
Superphosphat	0,3	49,7	100	42	61,4	100	49	61,5	100	54
Thomasmehl		49,8	100	41	67,9	111	46	63,3	103	53
Lübeckphosphat		46,7	94	37	64,0	104	42	59,0	96	48
Superphosphat	0,6	74,1	100	31	102,4	100	44	92,8	100	41
Thomasmehl		81,4	110	35	103,9	101	40	96,8	104	41
Lübeckphosphat		80,0	108	34	103,2	101	41	98,3	106	38
Superphosphat	0,9	81,1	100	25	112,5	100	36	106,6	100	39
Thomasmehl		100,9	124	29	115,9	103	34	109,0	102	40
Lübeckphosphat		94,0	116	24	108,7	97	34	104,2	98	38

Aus den vorstehenden Zahlen geht zweifellos hervor, daß das Phosphat der Hochofenwerke Lübeck auf dem stark sauren und mit zwei Kalkgaben versehenen Sandboden von Darmstadt insgesamt eine ähnlich gute Wirkung und Nachwirkung ausgelöst hat wie Superphosphat und Thomasmehl. Auch konnte die in dieser Form verabfolgte Phosphorsäure von den Versuchspflanzen ohne Schwierigkeiten aufgenommen werden.

Zur Prüfung der Frage, welchen Einfluß das Lübeckphosphat auf die Reaktion eines Bodens auszulösen vermag, wurden nach der Ernte des Landsberger Gemenges entsprechende Durchschnittsproben aus den Gefäßen genommen und die Proben auf Austauschsäure (y_1 : A. A.), hydrolytische Säure (y_1 : H. A.) und pH (KCl) untersucht. Es wurden hierbei folgende Ergebnisse erzielt:

Aus den vorstehenden Zahlen ist zu schließen, daß das neue Lübeckphosphat zwar nicht so stark physiologisch alkalisch reagiert wie Thomasmehl, es aber zu den physiologisch alkalischen Düngemitteln zu rechnen ist.

Die Wirkungsfähigkeit des Lübeckphosphates hängt ebenfalls, und zwar in anderem Sinne wie bei Superphosphat und Wasagphosphat, von dem Kalk- und Reaktionszustand des Bodens

Übersicht 18.

Reaktion der Böden des Gefäß-Versuchs Nr. 334 am Ende des letzten Versuchsjahres 1938.

Düngemittel	P_2O_5	1. Reihe: Ohne Kalk			2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5)			3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0)		
	g	A.A.	H.A.	pH	A.A.	H.A.	pH	A.A.	H.A.	pH
Ohne P_2O_5	—	1,0	6,1	4,8	0,8	5,6	4,9	0,5	4,5	5,4
Superphosphat	0,3	0,2	4,6	5,2	0,5	4,8	5,1	—	3,0	6,1
Thomasmehl	0,3	—	4,5	5,5	—	3,4	5,5	—	2,3	6,4
Lübeckphosphat	0,3	—	4,6	5,3	—	3,2	5,6	—	2,5	6,2
Superphosphat	0,6	—	4,2	5,5	—	3,6	5,9	—	3,2	6,2
Thomasmehl	0,6	—	3,6	5,9	—	3,0	6,3	—	2,4	6,5
Lübeckphosphat	0,6	—	4,2	5,6	—	2,4	6,3	—	2,8	6,3
Superphosphat	0,9	—	4,0	5,6	—	3,8	5,9	—	2,7	6,4
Thomasmehl	0,9	—	4,0	5,6	—	2,3	6,4	—	2,2	6,7
Lübeckphosphat	0,9	—	4,2	5,5	—	3,4	5,8	—	2,2	6,6

ab. Das Kurvenbild Nr. 2 läßt deutlich erkennen, daß dieses Phosphat infolge seiner physiologisch alkalischen Reaktionseigenschaften durch eine übermäßig starke Kalkdüngung in seiner vollen Wirkung etwas gehemmt werden kann. In der großen Praxis wird aber dieser Fall einer so starken Kalkdüngung kaum vorkommen. Auf jeden Fall ist auch bei Anwendung von Lübeckphosphat auf einen geregelten Kalkzustand des Bodens zu achten.

3. Die Wirkung und Nachwirkung von „Rénophosphat" in der Versuchsreihe 334 auf das Pflanzenwachstum und die Reaktion des Bodens.

Aus den Wachstumsbeobachtungen sind folgende Notizen beachtenswert:

13. Mai 1937: Die geringste Phosphorsäurewirkung zeigt Réno-Phosphat, zwischen Superphosphat und Thomasmehl sind keine wesentlichen Unterschiede. Auch zwischen einfacher, doppelter und dreifacher P_2O_5-Gabe sind noch keine Unterschiede festzustellen. In den Reihen mit Kalk ist die Entwicklung besser als in der 1. Reihe: Ohne Kalk. Zwischen geringer und starker Kalkgabe kein Unterschied.

21. Mai 1937: Bei ohne P_2O_5 gelbrote Verfärbung der Halme. In der 1. Reihe ohne Kalk bleibt Réno-Phosphat bei 0,6 g P_2O_5 nur noch unwesentlich zurück gegenüber Superphosphat und Thomasmehl. Bei Verabreichung von 0,9 g P_2O_5 Wirkung von Réno-Phosphat gleich Superphosphat, Thomasmehl dagegen besser. In der 2. Reihe: Mit Kalk bleibt Réno-Phosphat dagegen bei allen Phosphorsäuregaben zurück. Das Zurückbleiben von Réno-Phosphat ist in der 3. Reihe noch ausgeprägter.

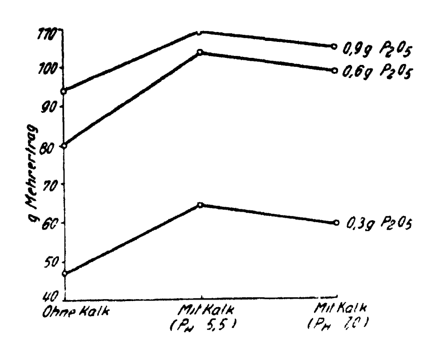
10. Juni 1937: Ähren überall geschlüpft. 1. Reihe: Ohne Kalk: Bei der einfachen P_2O_5-Gabe (0,3 g P_2O_5) .bleibt Réno-Phosphat stark zurück gegenüber Superphosphat und Thomasmehl. Bei der doppelten P_2O_5-Gabe (0,6 g P_2O_5) ist der Unterschied zwischen Réno-Phosphat und den übrigen Phosphaten geringer und bei der dreifachen Gabe (0,9 g P_2O_5) ist überhaupt kein Unterschied mehr festzustellen (siehe Bild 9). 2. Reihe: Mit Kalk: Réno-Phosphat überall schwächer als die übrigen Phosphate, die untereinander gleich sind (siehe Bild 10). 3. Reihe: Mit Kalk: Unterschied wie in der 2. Reihe.

16. Juni 1937: Der Hafer fängt an zu blühen. In der 3. Reihe mit starker Kalkgabe bleibt Réno-Phosphat besonders stark zurück (siehe Bild 11).

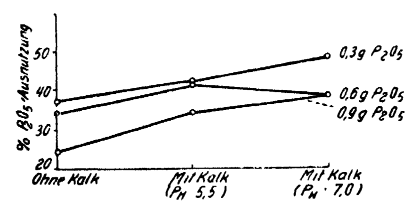
Die Ernte des Versuchs wurde am 19. Juli vorgenommen, wobei folgende Ergebnisse erzielt wurden:

Die Ergebnisse der 1. Reihe ohne Kalk sind in Übersicht 19 enthalten. Aus ihr geht hervor, daß sich auf dem stark sauren Sandboden kein Unterschied ergab zwischen Rénophosphat mit

Kurvenbild 2.
Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit des Lübeck-Phosphates von dem Kalkzustand des Bodens.

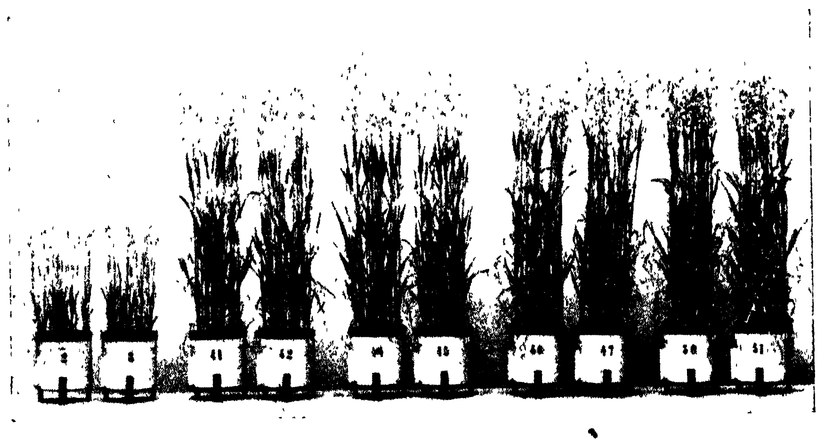


A. Einfluß auf den Mehrertrag.



B. Einfluß auf die Phosphorsäureausnutzung.

Bild 9.
Wirkung von Rénophosphat.

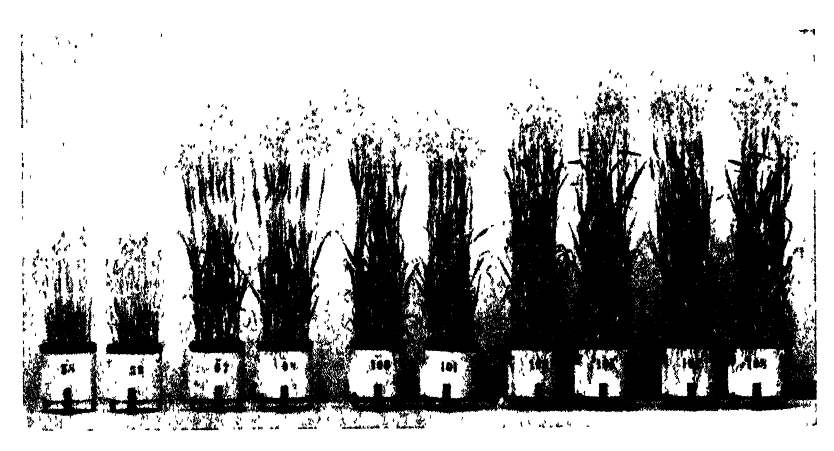


1. Reihe: Ohne Kalk.

0,9 g Phosphorsäure als:

Ohne P_2O_5 — Rénophosphat I — Rénophosphat II — Superphosphat — Thomasmehl

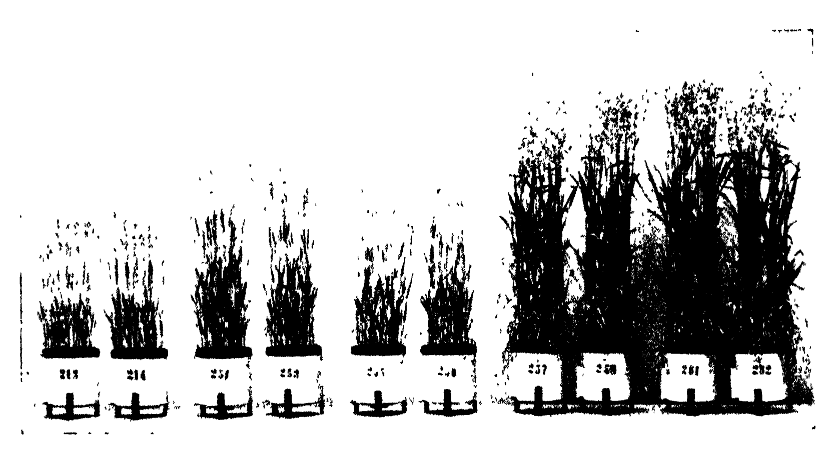
Bild 10.
Wirkung von Rénophosphat.



2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5)
0,9 g Phosphorsäure als:

Ohne P_2O_5	Rénophosphat I	Rénophosphat II	Superphosphat	Thomasmehl

Bild 11.
Wirkung von Rénophosphat.



3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0)
0,9 g Phosphorsäure als:

Ohne P_2O_5	Rénophosphat I	Rénophosphat II	Superphosphat	Thomasmehl

24% Gesamt-P_2O_5 und Rénophosphat mit 30% Gesamt-P_2O_5. Wurden 0,3 g P_2O_5 je Gefäß gegeben, dann lösten zwar die beiden Rénophosphate eine Phosphorsäurewirkung aus, sie war jedoch der des Superphosphats und Thomasmehls deutlich unter-

Übersicht 19.

a 1. Wirkung von Rénophosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,7	1,8	—	—	0,17	0,64	—
2	Superphosphat	0,3	22,9	8,7	14,2	6,9	0,14	0,58	19
3	Thomasmehl	0,3	24,1	10,0	15,4	8,2	0,13	0,59	22
4	Rénophosphat I	0,3	17,4	4,9	8,7	3,1	0,19	0,83	16
5	Rénophosphat II	0,3	17,8	5,1	9,1	3,3	0,21	0,77	17
6	Superphosphat	0,6	28,0	18,5	19,3	16,7	0,10	0,49	16
7	Thomasmehl	0,6	33,4	22,0	24,7	20,2	0,09	0,52	20
8	Rénophosphat I	0,6	23,9	14,1	15,2	12,3	0,12	0,51	13
9	Rénophosphat II	0,6	24,8	14,6	16,1	12,8	0,12	0,50	13
10	Superphosphat	0,9	31,1	18,0	22,4	16,2	0,11	0,67	14
11	Thomasmehl	0,9	41,2	25,4	32,5	23,6	0,09	0,57	17
12	Rénophosphat I	0,9	30,1	17,0	21,4	15,2	0,13	0,61	13
13	Rénophosphat II	0,9	29,8	17,8	21,1	16,0	0,12	0,64	14

legen. Mit der Steigerung der Phosphorsäuregaben auf 0,6 und 0,9 g nahmen die Unterschiede jedoch zugunsten des Rénophosphats so stark ab, daß mit 0,9 g Gesamt-P_2O_5 praktisch kein Unterschied mehr bestand zwischen Rénophosphat und Superphosphat. Auch die Phosphorsäureausnutzungszahlen sind ein deutliches Zeichen dafür, daß das Rènophosphat auf dem stark sauren Sandboden zur Wirkung kam, und von dem Hafer zu einem recht erheblichen Prozentsatz verwertet worden war.

Übersicht 20.

a 2. Nachwirkung von Rénophosphat in der 1. Reihe: Ohne Kalk.
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	Mittelertrag II. Schnitt	Sa. I + II	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I.	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	2,6	1,7	4,3	—	0,18	0,27	—
Superphosphat	0,3	16,3	16,6	32,9	28,6	0,22	0,25	23
Thomasmehl	0,3	16,7	13,8	30,5	26,2	0,21	0,23	19
Rénophosphat I	0,3	12,4	13,9	26,3	22,0	0,22	0,23	17
Rénophosphat II	0,3	14,7	12,9	27,6	23,3	0,20	0,27	18
Superphosphat	0,6	23,6	18,8	42,4	38,1	0,22	0,25	15
Thomasmehl	0,6	22,8	18,0	40,8	36,5	0,23	0,27	15
Rénophosphat I	0,6	23,0	18,8	41,8	37,5	0,21	0,24	14
Rénophosphat II	0,6	24,2	18,8	43,0	38,7	0,19	0,24	14
Superphosphat	0,9	27,2	19,6	46,8	42,5	0,20	0,30	11
Thomasmehl	0,9	29,4	19,7	49,1	44,8	0,22	0,27	12
Rénophosphat I	0,9	24,6	19,6	44,2	39,9	0,17	0,27	9
Rénophosphat II	0,9	24,5	20,1	44,6	40,3	0,20	0,27	10

Besonders auffallend ist hierbei der außerordentlich hohe Gehalt des Strohes und der Körner an Phosphorsäure.

Die Nachwirkung des Rénophosphats war demnach auf dem stark sauren Sandboden recht beachtlich und stand nur wenig der von Thomasmehl und Superphosphat nach.

Erhielt der Boden vor Einleiten des Versuchs soviel Kalk, daß der pH-Wert von 5,5 erreicht wurde, dann brachte nach Übersicht 21 Rénophosphat bei Anwendung von 0,3 g P_2O_5

Übersicht 21.

b 1. Wirkung von Rénophosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 5,5.)
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	P_2O_5 (%) in Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	8,3	1,0	—	—	0,18	0,65	—
2	Superphosphat	0,3	27,7	12,0	19,4	11,0	0,11	0,62	28
2	Thomasmehl	0,3	29,7	17,2	21,4	16,3	0,08	0,45	27
4	Rénophosphat I	0,3	18,9	5,7	10,6	4,7	0,21	0,71	20
5	Rénophosphat II	0,3	19,2	6,3	10,9	5,3	0,19	0,78	22
6	Superphosphat	0,6	41,2	27,0	32,9	26,0	0,06	0,59	27
7	Thomasmehl	0,6	44,1	27,1	35,8	26,1	0,07	0,48	23
8	Rénophosphat I	0,6	22,3	9,7	14,0	8,7	0,14	0,64	12
9	Rénophosphat II	0,6	23,9	11,5	15,6	10,5	0,14	0,66	15
10	Superphosphat	0,9	47,7	31,2	39,4	30,2	0,06	0,59	21
11	Thomasmehl	0,9	49,4	33,9	41,1	32,9	0,06	0,49	19
12	Rénophosphat I	0,9	26,3	13,5	18,0	12,5	0,12	0,63	11
13	Rénophosphat II	0,9	29,6	16,8	21,3	15,8	0,11	0,57	12

Mehrerträge von 10,6 bzw. 10,9 g Stroh und 4,7 bzw. 5,3 g Körnern. Die gleichen Gaben in Form von Superphosphat und Thomasmehl lieferten jedoch wesentlich höhere Mehrerträge. Noch deutlichere Unterschiede zugunsten des Superphosphats und Thomasmehls ergaben sich bei Verabreichung von 0,6 g P_2O_5. Während die beiden Rénophosphate Mehrerträge von 14,0 bzw. 15,6 g Stroh und 8,7 bzw. 10,5 g Körnern lieferten, brachten die beiden Standarddünger Mehrerträge von 32,9 bzw. 35,8 g Stroh und 26,0 bzw. 26,1 g Körnern. Eine Steigerung der Phosphorsäuregaben auf 0,9 g P_2O_5 je Gefäß führte zwar gleichzeitig zu einer Erhöhung der Erträge bei Rénophosphat, die Unterschiede in der ertragssteigernden Wirkung waren jedoch zu ungunsten des Rénophosphats ähnlich groß wie bei Verabreichung von 0,6 g P_2O_5

In der 2. Reihe: Mit Kalk zeigten die beiden Sorten Rénophosphat auf dem auf pH: 5,5 eingestellten Boden zwar deutliche Nachwirkungen, sie waren aber offensichtlich geringer als die von Superphosphat und Thomasmehl.

Übersicht 22.

b 2. Nachwirkung von Rénophosphat in der 2. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 5,5.)
Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	Mittelertrag II. Schnitt	Sa. I + II	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte I.	II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	3,5	2,5	6,0	—	0,16	0,28	—
Superphosphat	0,3	19,7	17,3	37,0	31,0	0,20	0,21	21
Thomasmehl		21,6	14,6	36,2	30,0	0,19	0,20	19
Rénophosphat I		15,5	12,9	28,4	22,4	0,20	0,22	16
Rénophosphat II		17,1	13,7	30,8	24,8	0,19	0,21	16
Superphosphat	0,6	31,0	18,5	49,5	43,5	0,21	0,26	17
Thomasmehl		29,7	18,3	48,0	42,0	0,22	0,26	17
Rénophosphat I		24,2	14,1	38,3	32,3	0,19	0,23	11
Rénophosphat II		25,5	15,2	40,7	34,7	0,20	0,23	12
Superphosphat	0,9	30,3	18,6	48,9	42,9	0,30	0,30	15
Thomasmehl		28,8	19,1	47,9	41,9	0,30	0,31	15
Rénophosphat I		25,0	14,6	39,6	33,6	0,21	0,27	9
Rénophosphat II		25,3	16,7	42,0	36,0	0,21	0,25	9

Übersicht 23.

c 1. Wirkung von Rénophosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk.
(Einstellen des Bodens auf pH: 7,0.)
Hauptfrucht 1937: Hafer.

Lfd. Nr.	Phosphorsäure in Form von:	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag Stroh	Mittelertrag Korn	Mehrertrag Stroh	Mehrertrag Korn	P_2O_5 (%) in Stroh	Korn	P_2O_5-Ausnutzung %
1	Ohne P_2O_5	—	9,0	1,1	—	—	0,16	0,74	—
2	Superphosphat	0,3	30,3	18,3	21,3	17,2	0,11	0,57	38
3	Thomasmehl		30,3	19,0	21,3	17,9	0,08	0,59	37
4	Rénophosphat I		14,1	3,3	5,1	2,2	0,17	0,82	9
5	Rénophosphat II		14,4	4,3	5,4	3,2	0,15	0,79	11
6	Superphosphat	0,6	39,6	29,1	30,6	28,0	0,06	0,56	27
7	Thomasmehl		40,0	29,7	31,0	28,6	0,05	0,55	27
8	Rénophosphat I		17,7	6,7	8,7	5,6	0,15	0,77	9
9	Rénophosphat II		23,2	13,2	14,2	12,1	0,13	0,68	16
10	Superphosphat	0,9	44,6	30,9	35,6	29,8	0,08	0,74	27
11	Thomasmehl		47,0	31,6	38,0	30,5	0,07	0,68	25
12	Rénophosphat I		15,7	6,2	6,7	5,1	0,18	0,74	6
13	Rénophosphat II		14,5	5,5	5,5	4,4	0,20	0,79	5

Mit der Einstellung des Bodens auf den Neutralpunkt ging nach Übersicht 23 die Wirkung des Rénophosphats noch stärker zurück. Bei Verabreichung von 0,3 g P_2O_5 erhielten wir nur noch Mehrerträge von 5,1 bzw. 5,4 g Stroh und von 2,2 bzw. 3,2 g Körnern. Die Verdoppelung der Phosphorsäuregabe steigerte diese Mehrerträge auf nur 8,7 bzw. 14,2 g Stroh und 5,6 bzw.

12,1 g Körner. Wurde die Phosphorsäuregabe auf 0,9 g erhöht, dann erhielten wir sogar nur Mehrerträge in Höhe von 6,7 bzw. 5,5 g Stroh und 5,1 bzw. 4,4 g Körnern. Diese Ergebnisse stehen im vollen Einklang mit den später beschriebenen Gefäßversuchen

Übersicht 24.

c 2) Nachwirkung von Rénophosphat in der 3. Reihe: Mit Kalk. (Einstellen des Bodens auf PH: 7,0.)

Nachfrucht 1938: Landsberger Gemenge.

Nachwirkung der Phosphorsäure in Form von	P_2O_5 g	Erträge (g) an Trockensubstanz: Mittelertrag I. Schnitt	II. Schnitt	Sa. I + II	Mehrerträge	P_2O_5-Gehalt (%) der Ernte: I.	II.	P_2O_5-Ausnutzung %
Ohne P_2O_5	—	5,8	4,8	10,6	—	0,17	0,26	—
Superphosphat	0,3	20,3	13,3	33,6	23,0	0,18	0,25	16
Thomasmehl	0,3	21,9	12,8	34,7	24,1	0,18	0,26	16
Rénophosphat I	0,3	17,6	10,6	28,2	17,6	0,18	0,23	11
Rénophosphat II	0,3	19,5	9,8	29,3	18,7	0,17	0,23	11
Superphosphat	0,6	25,9	18,9	44,8	34,2	0,23	0,25	14
Thomasmehl	0,6	28,6	19,2	47,8	37,2	0,22	0,23	14
Rénophosphat I	0,6	21,4	11,7	33,1	22,5	0,19	0,24	8
Rénophosphat II	0,6	23,3	13,0	36,3	25,7	0,19	0,21	8
Superphosphat	0,9	32,5	19,3	51,8	41,2	0,23	0,29	12
Thomasmehl	0,9	33,6	17,5	51,1	40,5	0,29	0,35	15
Rénophosphat I	0,9	20,6	14,8	35,4	24,8	0,20	0,23	6
Rénophosphat II	0,9	27,3	15,3	42,6	32,0	0,17	0,23	7

Übersicht 25.

Zusammenfassung der 1937/38 mit Rénophosphat erzielten Mehrerträge und Phosphorsäureausnutzung.

Düngemittel	P_2O_5 g	1. Reihe: Ohne Kalk: Gesamtmehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5): Gesamtmehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %	3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0): Gesamtmehrertrag g	Relativzahl	Gesamt-P_2O_5-Ausnutzung %
Superphosphat	0,3	49,7	100	42	61,4	100	49	61,5	100	54
Thomasmehl	0,3	49,8	100	41	67,9	111	46	63,3	103	53
Rénophosphat I	0,3	33,8	68	33	37,7	61	36	24,9	40	20
Rénophosphat II	0,3	35,7	72	35	41,0	67	38	27,3	44	22
Superphosphat	0,6	74,1	100	31	102,4	100	44	92,8	100	41
Thomasmehl	0,6	81,4	110	35	103,9	101	40	96,8	104	41
Rénophosphat I	0,6	65,0	88	27	55,0	54	23	36,8	40	17
Rénophosphat II	0,6	67,6	91	27	60,8	59	27	52,0	56	24
Superphosphat	0,9	81,1	100	25	112,5	100	36	106,6	100	39
Thomasmehl	0,9	100,9	124	29	115,9	103	34	109,0	102	40
Rénophosphat I	0,9	76,5	94	22	64,1	57	20	36,6	34	12
Rénophosphat II	0,9	77,4	95	24	73,1	65	21	41,9	39	12

des Jahres 1936 auf phosphorsäurearmem, von Natur aus kalkreichem Lehmboden, die besagten, daß Rénophosphat sich überhaupt nicht für Böden mit normalem Kalkzustand eignet. Dies beweisen auch die in der 3. Reihe: Mit Kalk erhaltenen Prozentzahlen über die Ausnutzung der jeweils gegebenen Phosphorsäuredüngung.

Auf dem stärker gekalkten Boden der 3. Reihe ergab sich eine noch geringere Phosphorsäurenachwirkung der beiden Rénophosphate.

Die beiden Rénophosphate haben somit auf dem ausnehmend sauren Mineralboden bei Anwendung der stärksten Phosphorsäuregabe wohl eine nicht unbeträchtliche Wirkung ausgelöst, für einigermaßen normale Böden, also solche mit dem unbedingt zu fordernden gesunden Kalk- und Fruchtbarkeitszustand können diese, wenn auch kalzinierten, Rohphosphate nicht in Frage kommen.

Von gewissem Interesse mag noch die Frage von den physiologischen Reaktionseigenschaften der Rénophosphate sein, weshalb in Übersicht 26 die nach der Ernte der Nachfrucht im Jahr 1938 ermittelten Reaktionszahlen angegeben sind:

Übersicht 26.

Reaktion der Böden des Gefäß-Versuches Nr. 334 am Ende des Versuchsjahres 1938.

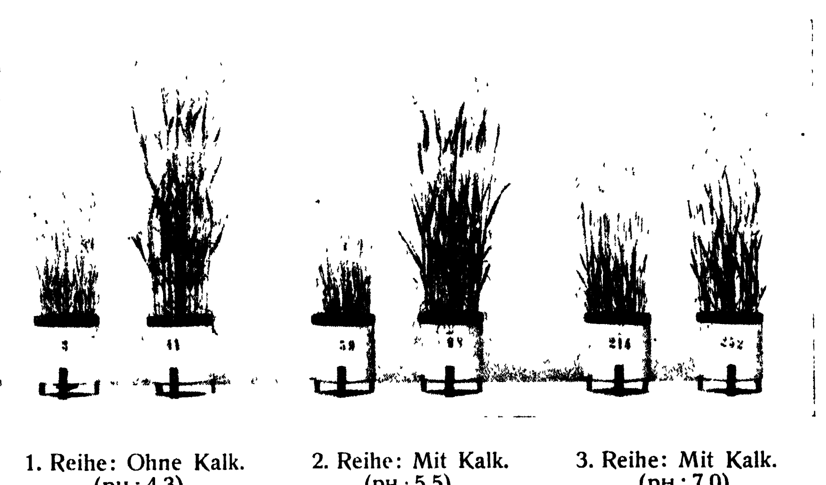
Düngemittel	P_2O_5 g	1. Reihe: Ohne Kalk A. A.	H. A.	pH	2. Reihe: Mit Kalk (pH: 5,5) A. A.	H. A.	pH	3. Reihe: Mit Kalk (pH: 7,0) A. A.	H. A.	pH
Ohne P_2O_5	—	1,0	6,1	4,8	0,8	5,6	4,9	0,5	4,5	5,4
Superphosphat	0,3	0,2	4,6	5,2	0,5	4,8	5,1	—	3,0	6,1
Thomasmehl	0,3	—	4,5	5,5	—	3,4	5,5	—	2,3	6,4
Rénophosphat I	0,3	0,5	4,7	5,1	0,4	4,6	5,3	—	3,6	5,8
Rénophosphat II	0,3	0,5	4,8	5,3	—	4,0	5,9	—	3,2	5,9
Superphosphat	0,6	—	4,2	5,5	—	3,6	5,9	—	3,2	6,2
Thomasmehl	0,6	—	3,6	5,9	—	3,0	6,3	—	2,4	6,5
Rénophosphat I	0,6	—	4,3	5,7	—	3,3	6,1	—	2,8	6,5
Rénophosphat II	0,6	—	4,2	5,6	—	3,3	6,2	—	3,6	5,7
Superphosphat	0,9	—	4,0	5,6	—	3,8	5,9	—	2,7	6,4
Thomasmehl	0,9	—	4,0	5,6	—	2,3	6,4	—	2,2	6,7
Rénophosphat I	0,9	—	3,2	5,7	—	2,8	6,2	—	2,6	6,9
Rénophosphat II	0,9	—	3,8	5,6	—	2,4	6,2	—	2,3	6,7

Nach unseren Feststellungen über den Gehalt von Rénophosphat an basisch wirksamer Substanz (12,32 und 9,80%) war es nicht erstaunlich, daß dasselbe bei Verabreichung stärkerer Gaben die Reaktion etwas nach dem Neutralpunkt verschob. Rénophosphat reagiert aber nicht so stark physiologisch alkalisch wie z. B. Thomasmehl.

Wenn auch Rénophosphat nur verhältnismäßig schwach physiologisch alkalisch reagiert, so ist es dennoch in seiner Wirkungsfähigkeit im umgekehrten Sinne außerordentlich stark

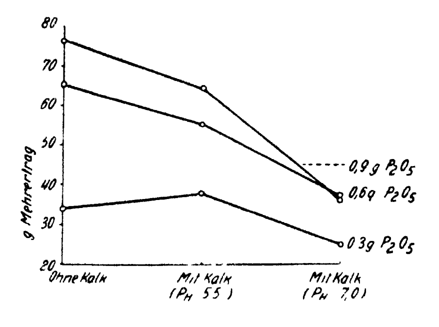
abhängig vom Kalkzustand des Bodens. Abbildung 12 ist ein außerordentlich deutlicher Beweis hierfür, der noch durch Kurvenbild 3 in seiner Klarheit übertroffen wird. Nur in stark saurem Mineralboden vermögen sich nicht säureempfindliche Pflanzen die Phosphorsäure des Rénophosphats in ertragssteigerndem Sinne nutzbar zu machen. Sobald der Boden nicht mehr aus-

Bild 12.
Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit von Rénophosphat vom Reaktionszustand des Bodens.

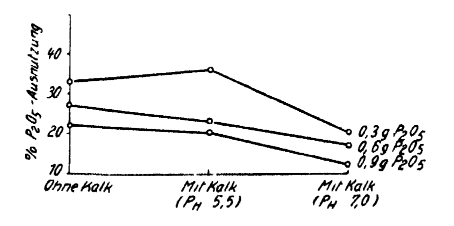


	1. Reihe: Ohne Kalk. (pH : 4,3)		2. Reihe: Mit Kalk. (pH : 5,5)		3. Reihe: Mit Kalk. (pH : 7,0)		
Ernte:	10,5	47,1	9,3	39,8	10,1	21,9	g Trockenmasse
P_2O_5-Ausnutzg.:		13		11		6%	

Kurvenbild 3.
Abhängigkeit der Wirkungsfähigkeit des Rénophosphates von dem Kalkzustand des Bodens.



A. Einfluß auf den Mehrertrag.



B. Einfluß auf die Phosphorsäureausnutzung.

tauschsauer, also frei von der schädlichen Bodensäure ist, geht die Pflanzenaufnehmbarkeit der Rénophosphorsäure um so stärker zurück, je mehr sich die Bodenreaktion dem Neutralpunkt nähert. Enthält der Boden von Natur aus stärkere Kalkmengen ($CaCO_3$), reagiert er also schwach alkalisch, dann findet schließlich überhaupt keine Phosphorsäureaufnahme mehr aus dem Rohphosphat statt. Die nächste Übersicht 27, in welcher die Ergebnisse des schon erwähnten, im Jahr 1936 durchgeführten Gefäßversuchs 317 angegeben sind, läßt dies deutlich erkennen.

Übersicht 27.

Wirkung von Rénophosphat auf einem kalkhaltigen Lehmboden mit Hafer (V. R. 317/1936).

Lfd. Nr.	Düngung	P_2O_5	Erträge (g) an Trockenmasse				%-Gehalt an P_2O_5		P_2O_5-Ausnutzung
			Mittelertrag		Mehrertrag				
		g	Stroh	Korn	Stroh	Korn	Stroh	Korn	%
1	Ohne P_2O_5	—	18,5	12,5	—	—	0,09	0,68	—
2	Superphosphat	0,3	41,0	26,1	22,5	13,6	0,10	0,81	50
3	Thomasmehl	0,3	35,2	26,7	16,7	14,2	0,10	0,84	52
4	Bas. Phosphat	0,3	34,6	24,2	16,1	11,7	0,10	0,86	47
5	Rénophosphat I	0,3	20,3	13,9	1,8	1,4	0,08	0,62	0
6	Rénophosphat II	0,3	20,3	14,1	1,8	1,6	0,08	0,70	5
7	Superphosphat	0,6	48,1	31,2	29,6	18,7	0,07	0,79	30
8	Thomasmehl	0,6	42,7	31,4	24,2	18,9	0,10	0,91	38
9	Bas. Phosphat	0,6	42,3	27,4	23,8	14,9	0,12	0,85	30
10	Rénophosphat I	0,6	20,6	13,0	2,1	0,5	0,08	0,66	0
11	Rénophosphat II	0,6	19,7	13,2	1,2	0,7	0,08	0,66	0
12	Superphosphat	0,9	53,2	34,6	34,7	22,1	0,06	0,71	19
13	Thomasmehl	0,9	48,0	31,0	29,5	18,5	0,13	0,91	27
14	Bas. Phosphat	0,9	46,4	30,3	27,9	17,8	0,09	0,88	23
15	Rénophosphat I	0,9	19,5	12,9	1,0	0,4	0,08	0,65	0
16	Rénophosphat II	0,9	19,0	12,5	0,5	0,0	0,10	0,68	0

Obwohl der Lehmboden mit 16,2% $CaCO_3$ nach Neubauer überhaupt keine Phosphorsäure enthielt, konnte der Hafer sich die in Form von Rénophosphat gebotene Phosphorsäurenahrung überhaupt nicht aneignen. Das an sich stärker physiologisch alkalische Thomasmehl kam jedoch auf diesem stark kalkhaltigen Boden außerordentlich gut zur Wirkung, so daß der Hafer die in dieser Form verabreichte Phosphorsäureform bis über 50% auszunutzen vermochte.

Diese uns von den Pflanzen gegebene Antwort beweist, daß die zur handelsmäßigen Bewertung des Thomasmehls benutzte Zitronensäurelösung nicht auf Rohphosphat angewendet werden kann. Es geht daher auch nicht an, wie dies häufig von ausländischen Einsendern von Rohphosphatproben verlangt wird, diese auf ihren Gehalt an Phosphorsäure nach der sogenannten Methode von Wagner-Robertson zu untersuchen. Diese Methode muß bei dem hierbei gewählten noch weiteren Ver-

hältnis von angewendeter Rohphosphatmenge: Zitronensäurelösung zu einem vollständig falschen Bild über die Aufnahmemöglichkeit der Rohphosphat-Phosphorsäure führen. Ebenso ungeeignet für die Rohphosphatbewertung ist eine Ammonzitratlösung. Den Grad der Aufnahmemöglichkeit der Rohphosphat-Phosphorsäure vermag nach wie vor nur die Pflanze anzugeben.

Zusammenfassung.

Die von der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Darmstadt in den Jahren 1936, 1937 und 1938 mit Unterstützung des Forschungsdienstes zur Prüfung der Wirkung und Nachwirkung von neuen Phosphaten durchgeführten Vegetationsversuche führten zu folgenden Ergebnissen:

I, 1. Das nach einem schwefelsäuresparenden Verfahren der Westfälisch-Anhaltischen-Sprengstoff-A.-G. hergestellte neuartige Superphosphat, genannt Wasagphosphat, löste auf einem von Natur aus stark sauren Sandboden, der im natürlichen Zustand benutzt und außerdem durch 2 steigende Kalkgaben auf einen pH-Wert von 5,5 und 7,0 eingestellt wurde, zu Hafer praktisch die gleichen guten Wirkungen und Nachwirkungen aus wie die Vergleichsphosphate Superphosphat und Thomasmehl. Das gleiche konnte auf einem kalkhaltigen Niederungsmoorboden mit Rotklee festgestellt werden.

I, 2. Am Ende des zweiten Versuchsjahres durchgeführte Bodenreaktionsmessungen ergaben, daß Wasagphosphat in die Reihe der physiologisch neutralen Phosphate zu zählen ist und auch seine Wirkungsfähigkeit in starkem Ausmaße von einem geregelten Kalkzustand des Bodens abhängt.

II, 1. Das nach dem ohne Verwendung von Schwefelsäure arbeitende Verfahren der Metallgesellschaft Frankfurt a. M. dargestellte neue Phosphat, genannt Lübeckphosphat, vermag eine ähnlich gute Wirkung auf das Pflanzenwachstum auszuüben wie Thomasmehl und Superphosphat.

II, 2. Lübeckphosphat übt keinen nachteiligen Einfluß auf die Bodenreaktion aus, sondern ist vielmehr zu den physiologisch alkalischen Düngemitteln zu rechnen. Auf Grund seiner physiologisch alkalischen Eigenschaften hängt seine Wirkungsfähigkeit nicht so stark von dem Kalkzustand des Bodens ab wie z. B. Superphosphat und Wasagphosphat. Infolge seines Gehaltes an basisch wirksamer Substanz (18,90 %) ist das Lübeckphosphat vielmehr geeignet, die Kalkdüngung in ihrem Kampf gegen die Bodenazidität etwas zu unterstützen.

III, 1. Das von einer ausländischen Firma angebotene kalzinierte Rohphosphat Hyperphosphat Réno vermag auf ausnehmend stark sauren Mineralböden wohl zu einer gewissen Wirkung zu gelangen, für normale, also die Mehrzahl der deutschen Böden, kommt dieses Produkt jedoch nicht in Betracht.

III, 2. Die mit Rénophosphat bei verschiedenen Reaktionsverhältnissen durchgeführten Gefäßversuche haben erneut den

Beweis geliefert, daß es nicht angängig ist, Rohphosphat und ähnliche Produkte nach ihrem Gehalt an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure — etwa nach Methode Wagner-Robertson — oder nach zitratlöslicher Phosphorsäure zu bewerten. Für die Bewertung der Phosphorsäureaufnahmemöglichkeit dieser Phosphate kommt nach wie vor nur die Pflanze selbst in Frage.

Schrifttum.

1. Giesecke, F.: Über neue Phosphorsäure-Düngemittel. Der Forschungsdienst, Berlin, Sonderheft 11, 1938, 231—235.

[315]

Über das Wirkungsverhältnis verschiedener neuerer Phosphorsäuredünger zu den bisher gebräuchlichen Düngerformen.*)

Von **R. Thun.**
Aus der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Rostock.

Eingegangen: 6. April 1939.

Im Rahmen einer Gemeinschaftsarbeit des Forschungsdienstes wurden in den Jahren 1936—1938 eine Reihe von Versuchen durchgeführt, durch die das Wirkungsverhältnis einiger neuer Phosphorsäuredünger im Vergleich zu den bisher üblichen Düngerformen wie Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und Superphosphat geprüft werden sollte.

Es wurden sowohl Feld-, Gefäß- als auch Laboratoriumsversuche ausgeführt. Da die Feldversuche zur Prüfung der Nachwirkung noch nicht sämtlich abgeschlossen sind, soll zunächst nur über die letzteren berichtet werden.

Geprüft wurden folgende Phosphate:

1. Hyperphosphat Réno (Rénophosphat).

Das Phosphat wurde in zwei Gehaltslagen geliefert. Die Analyse ergab folgende Resultate:

a) Rénophosphat (30%ig):

Gesamtphosphorsäure	= 30,23% P_2O_5
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure	= 13,24% P_2O_5
Zitratlösl. Phosphorsäure	= 0,66% P_2O_5
Zitronensäurelöslichkeit in %	44,1
Basizität	33,36% CaO

b) Rénophosphat (26%ig)

Gesamtphosphorsäure	= 24,79% P_2O_5
Zitronensäurelösliche Phosphorsäure	= 9,91% P_2O_5
Zitronensäurelöslichkeit	39,7
Basizität	31,16% CaO

Es handelt sich also in den Rénophosphaten um hochprozentige, stark basische Phosphate, deren Gesamtphosphorsäure zu etwa 40% zitronensäurelöslich ist. Entsprechend seiner chemischen Zusammensetzung und Löslichkeit kommt Rénophosphat gemäß Angaben der Hersteller für die Düngung saurer phosphorsäurearmer Böden in Frage, aber nicht nur für saure

*) Aus dem Arbeitskreis II/8 des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Dr. Giesecke, Berlin.

Moorböden und humose Böden, sondern vor allem auch für saure Mineralböden. Da 1-kg-% P_2O_5 im Rénophosphat nur etwa die Hälfte von 1-kg-% P_2O_5 im Thomasmehl kostet, ist bei einem Vergleich besonders zu berücksichtigen, wie sich das Wirkungsverhältnis gleicher Gewichtsmengen an Rénophosphat und Thomasmehl gestaltet. Auf Grund der Zitronensäurelöslichkeit seiner Phosphorsäure ist in diesem Falle, besonders bei dem hochprozentigen Phosphat, die Möglichkeit einer Gleichwertigkeit mit dem Thomasmehl gegeben. Schließlich wäre zu prüfen, wie sich das Rénophosphat in der Nachwirkung verhält.

2. Basisches Phosphat der Hochofenwerke Lübeck:

Die Analyse ergab folgenden Gehalt:

23,27% Gesamtphosphorsäure
21,15% zitronensäurelösliche Phosphorsäure
19,46% zitratlösliche Phosphorsäure
0,36% wasserlösliche Phosphorsäure
Zitronensäurelöslichkeit in %-90,5
Basizität: 44,4%

Es handelt sich bei dem vorliegenden Phosphat um ein Produkt, das in seiner Phosphorsäurelöslichkeit etwa dem Thomasmehl oder Rhenaniaphosphat nahesteht. Die Zitronensäurelöslichkeit entspricht der der Thomasmehlphosphorsäure, während die Zitratlöslichkeit etwas geringer ist als diejenige des Rhenaniaphosphates.

3. Wasag-Phosphat:

Die Untersuchung dieses von der Westfälisch-Anhaltischen Sprengstoff-Akt.-Ges. gelieferten Produktes ergab folgende Zahlen:

19,55% Gesamtphosphorsäure
18,07% zitratlösliche Phosphorsäure
16,70% wasserlösliche Phosphorsäure am 10. 4. 37
14,76% wasserlösliche Phosphorsäure am 30. 11. 37
freie Phosphorsäure
pH = 3,4

Durch die Herstellung des Wasagphosphates sollte ein Dünger geschaffen werden, der in seinen Eigenschaften dem amerikanischen Superphosphat entspricht, also im Gegensatz zum normalen Superphosphat keine freie Phosphorsäure besitzt und in mechanischen Streumaschinen vollkommen streufest ist. Die Neutralisation des Phosphates erfolgt zum Teil durch Untersäuerung beim Aufschluß des Rohphosphates, zum Teil durch Zuschlag von basisch kalkhaltigen Stoffen. Ein Teil des Monokalziumphosphates wird dabei in Dikalziumphosphat umgesetzt, so daß die Wasserlöslichkeit gegenüber dem normalen Superphosphat etwas verringert ist. Sie beträgt aber bei dem für unsere Versuche benutzten Produkt immerhin 85%. Bemerkenswert ist, daß die Wasserlöslichkeit bei längerem Lagern zurückgeht (in 7 Monaten auf 75%). Die Zitratlöslichkeit ist sehr gut und beträgt 93%. Die pH-Zahl des Phosphates betrug 3,4 gegenüber einer Reaktion von 2,2 beim normalen Superphosphat.

Als besondere Vorzüge werden von den Herstellern angeführt:

a) Der Dünger ist chemisch und physiologisch neutral. Da freie Phosphorsäure nicht vorhanden ist, tritt auch bei Kopfdüngung eine Schockwirkung auf junge Pflanzen nicht ein. Es besitzt unbegrenzte Lagerfähigkeit, ein Angriff auf das Sackmaterial findet nicht statt.

b) Das Fehlen der freien Phosphorsäure und der geringe Wassergehalt machen das Wasag-Phosphat absolut streufest, sowohl für sich allein als auch in Mischung mit Ammon- und Kalisalzen.

c) Die Einsparung an Schwefelsäure beim Aufschluß und die Arbeitshilfe für den Landwirt infolge der zuverlässigen Streufestigkeit in mechanischen Streumaschinen liegen im Sinne der Richtlinien des Vierjahresplanes.

4. Kaliglühphosphat nach Dr. Messerschmidt.

Das Kaliglühphosphat enthielt:

26,5% Gesamtphosphorsäure
25,4% zitronensäurelösliche Phosphorsäure
23,8% zitratlösliche Phosphorsäure
13,6% Kali (zitronensäurelöslich)

Es handelt sich um ein ähnlich dem Rhenaniaphosphat hergestelltes Glühphosphat (Kalziumalkalisilicophosphat), wobei als alkalisches Aufschlußmittel Kaliumsulfat verwendet wird. Als Ausgangsprodukt diente der rohe unseparierte Kolaapatit, ein zu $^2/_3$ aus Apatit und zu $^1/_3$ aus Nephelin bestehendes Mineral.

Da die verschiedenen Phosphorsäuredüngemittel zur gleichen Zeit zu prüfen waren, ließ sich eine gemeinsame Versuchsanordnung für sämtliche Phosphate aufstellen.

Gefäßversuche.

Die Versuchsanordnung wurde so gewählt, daß die einzelnen neuen Phosphate in gestaffelten Gaben mit den bekannten Phosphaten in Vergleich gestellt wurden.

Als Versuchsböden dienten die Böden aus den parallel laufenden Feldversuchen und zwar ein mäßig saurer leichter Sandboden, der außerdem zu $^1/_3$ mit Glassand verdünnt wurde; ferner ein schwach saurer unverdünnter sandiger Lehmboden. Als Gefäße wurden Mitscherlichtöpfe benutzt und die Versuche im Freien unter Draht ausgeführt. Sämtliche Versuche wurden vierfach wiederholt.

Die näheren Angaben und Versuchsdaten finden sich bei den einzelnen Versuchen.

Um eine Übersicht über das Wirkungsverhältnis zu erhalten, ist die Versuchsreihe „Ohne P_2O_5“ gleich 100 gesetzt. Dann ergeben sich für den Gesamtertrag folgende Verhältniszahlen:

	0,3 g P_2O_5	0,6 g P_2O_5	0,9 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Thomasmehl	148	174	173
Rhenaniaphosphat	131	162	187
Superphosphat	150	175	176
Rénophosphat (26%ig)	92	103	104
Rénophosphat (30%ig)	102	102	116
Bas. Phosphat Lübeck	144	159	170
Wasag-Phosphat	152	169	167
Kaliglühphosphat	137	155	166
Kaliglühphosphat (Kaligehalt berücksichtigt)	140	151	158

Tabelle 1.

Boden Stormstorf: 5000 g Boden + 2250 g Glassand je Gefäß.
Bodenart: l. S. pH (KCl) = 5,5. Hydr. Säure: 6,4 cm³.
Neubauer-Analyse: 3,7 mg P_2O_5, 17,2 mg K_2O.
Wasserkapazität: 32,2 %.
Düngung: 1,0 g N als Ammoniumnitrat, 1,5 g K_2O als Kaliumsulfat.
Phosphorsäure nach Versuchsplan (s. Ertragstabelle).
Gesät: 8. Mai 1937. Geerntet: 15. August 1937.

Ergebnis:

Düngung	P_2O_5 g	Korn je Gefäß g	Stroh je Gefäß g	Gesamtertrag ±	% P_2O_5 Korn	% P_2O_5 Stroh	Nach der Ernte pH (KCl)	Nach der Ernte mg P_2O_5 nach Neubauer
1. Ohne Phosphorsäure		23,0	33,6	56,6±3,0	0,07	0,73	5,9	1,3
2. Thomasmehl	0,3	33,8	52,1	85,9+3,9	0,07	0,77		
3. „	0,6	40,3	58,5	98,8±3,9	0,07	0,90	6,0	3,7
4. „	0,9	40,7	57,5	98,2±5,7	0,10	0,87		
5. Rhenaniaphos-	0,3	29,7	44,7	74,4±2,8	0,09	0,95		
6. phat	0,6	35,6	56,1	91,7±3,2	0,07	0,83	6,0	2,2
7. „	0,9	41,3	59,2	105,5+4,1	0,08	0,93		
8. Superphosphat	0,3	34,3	50,6	84,9±3,2	0,08	0,80		
9. „	0,6	39,8	59,1	98,9±2,2	0,07	0,87	5,9	2,0
10. „	0,9	40,6	59,3	99,9±4,7	0,15	0,90		
11. Rénophosphat	0,3	21,4	30,7	52,1±0,8	0,10	0,84		
12. 26 % ig	0,6	24,1	34,3	58,4±2,1	0,07	0,78	—	—
13. „	0,9	25,3	33,3	58,6±1,2	0,07	0,73		
14. Rénophosphat	0,3	24,1	33,6	57,7±2,2	0,08	0,84		
15. 30 % ig	0,6	25,5	32,5	58,0±3,2	0,07	0,81	5,9	1,7
16. „	0,9	27,5	38,4	65,9+1,2	0,06	0,80		
17. Bas. Phosphat,	0,3	35,4	46,4	81,8±1,8	0,05	0,80		
18. Lübeck	0,6	38,0	52,2	90,2±1,3	0,05	0,76	5,8	2,0
19. „	0,9	40,9	55,1	96,0+1,8	0,07	0,89		
20. Wasag-Phos-	0,3	34,6	51,6	86,2±1,5	0,06	0,84		
21. phat	0,6	39,0	56,8	95,8+2,4	0,08	1,01	5,9	3,4
22. „	0,9	38,6	56,2	94,8±0,8	0,13	0,99		
23. Kaliglühphos-	0,3	32,9	44,9	77,8±2,2	0,06	0,77		
24. phat	0,6	36,4	51,6	88,0±0,2	0,07	0,80	5,9	3,4
25. „	0,9	38,0	55,8	93,8±3,5	0,08	0,81		
26. Kaliglühphos-	0,3	32,7	46,2	79,0±4,9	0,15	0,76		
27. phat*)	0,6	35,3	50,2	85,5+1,6	0,08	0,93	—	—
28. „	0,9	37,8	51,6	89,4±2,5	0,06	0,82		

*) Kaligehalt bei der Grunddüngung berücksichtigt.

Diese Übersicht (s. S. 114) zeigt bei starker Phosphorsäurebedürftigkeit des Bodens in eindeutiger Weise, daß von den neu zu prüfenden Düngern Wasag-Phosphat und basisches Phosphat Lübeck annähernd die Wirkung der bisherigen Dünger erreichen. Ein geringes Zurückbleiben ist nur bei der hohen Phosphorsäuregabe festzustellen. Kaliglühphosphat zeigt, besonders bei Berücksichtigung des in ihm vorhandenen Kaligehaltes, bereits einen deutlicheren Abfall (bei der kleinen Gabe gleicht es sich

dem Rhenaniaphosphat an), während Rénophosphat praktisch keine Wirkung gezeigt hat. Eine geringe Ertragssteigerung ist nur durch das höher prozentige Phosphat eingetreten, und auch hier nur bei der höchsten Gabe.

Das basische Phosphat Lübeck ist in seiner Wirkung, wenn man die Erträge der kleinen und mittleren Gabe zugrunde legt, am ehesten mit dem Rhenaniaphosphat zu vergleichen. Die Löslichkeit seiner Phosphorsäure ließ dieses Resultat erwarten. In bezug auf den Kornertrag ist es den übrigen Düngern voll gleichwertig. Das Wasag-Phosphat zeigt sich, besonders bei der kleinen und mittleren Gabe, den übrigen Düngern gegenüber ebenfalls ebenbürtig.

Die Bodenuntersuchungen nach der Ernte zeigen, daß die Wurzellöslichkeit des Rénophosphates nur gering zu sein scheint, da der Gehalt trotz des geringen Ertrages und Entzuges am niedrigsten liegt. Wasag-Phosphat und Thomasmehl zeigen hier die besten Werte (Tab. 2 S. 117).

Die Wirkung der Phosphorsäuredüngung ist entsprechend den Ergebnissen der Neubauer-Analyse erheblich geringer als auf dem Boden Stormstorf, so daß der Vergleich der Düngerwirkungen weniger klar und eindeutig ist.

Die Verhältniszahlen, bezogen auf den Gesamtertrag, sind folgende:

	0,3 g P_2O_5	0,6 g P_2O_5	0,9 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Thomasmehl	112	111	120
Rhenaniaphosphat	113	117	112
Superphosphat	114	110	118
Rénophosphat (26%ig)	105	105	107
Rénophosphat (30%ig)	107	105	110
Bas. Phosphat Lübeck	113	117	110
Wasag-Phosphat	114	114	115
Kaliglühphosphat	110	115	122
Kaliglühphosphat (Kaligehalt berücksichtigt)	115	114	116

Trotz der geringeren Wirkung der Phosphorsäure wird jedoch das im vorigen Versuch erhaltene Ergebnis im wesentlichen bestätigt. Basisches Phosphat Lübeck und Wasag-Phosphat erreichen die Wirkung der bisherigen Dünger, (das erstere ist wiederum in seiner Wirkung dem Rhenaniaphosphat am ähnlichsten), während Rénophosphat deutlich abfällt. Auch in diesem Versuch ist das höherprozentige Phosphat dem niedrigprozentigen überlegen. Die doppelte Gabe an Rénophosphat erreicht ferner nicht den Ertrag der niedrigen Gabe bei Thomasmehl.

Tabelle 2.

Boden Anna-Luisenhof: 7000 g Boden Bodenart: s. L./L.
pH (KCl) = 5,9 Hydr. Säure: 4,0 cm^3. Neubauer Analyse:
Wasserkapazität: 34,3 % 4,3 mg P_2O_5; 17,7 mg K_2O

Düngung: 1,0 g N als Ammoniumnitrat
0,5 g NaCl
1,5 g K_2O als Kaliumsulfat

Phosphorsäure in Staffelungen von 0,3, 0,6 u. 0,9 g P_2O_5 in Form der einzelnen Phosphorsäuredünger.

Versuchsfrucht: Hafer Wiederholung: Vierfach
Gepflanzt: 8. Mai 1937 Geerntet: 15. August 1937
Ab Juni volles Wasser

Ergebnis:

Düngung	P_2O_5 g	g Korn j. Gefäß	g Stroh j. Gefäß	Gesamt-ertrag ±	% P_2O_5 Korn	% P_2O_5 Stroh
1. Ohne Phosphorsäure		41,6	55,3	96,9 ± 2,8	0,06	0,90
2. Thomasmehl	0,3	47,7	60,8	108,5 ± 2,9	0,10	1,06
3. „	0,6	45,0	61,8	106,8 ± 1,8	0,17	1,00
4. „	0,9	50,2	66,1	116,3 ± 1,1	0,27	1,16
5. Rhenaniaphosphat	0,3	45,3	64,3	109,7 ± 1,6	0,09	1,09
6. „	0,6	48,1	64,9	113,0 ± 1,5	0,11	1,11
7. „	0,9	46,5	61,6	109,1 ± 6,1	0,23	1,07
8. Superphosphat	0,3	47,6	62,6	110,2 ± 2,9	0,13	0,99
9. „	0,6	43,7	63,1	106,8 ± 2,6	0,22	1,11
10. „	0,9	50,0	64,8	114,8 ± 2,4	0,34	1,09
11. Rénophosphat 26 %ig	0,3	43,8	57,7	101,2 ± 2,4	0,07	0,97
12. „	0,6	44,1	57,7	101,8 ± 2,0	0,06	0,89
13. „	0,9	44,8	58,4	103,2 ± 2,7	0,08	0,89
14. Rénophosphat 30 %ig	0,3	44,9	59,2	104,1 ± 0,8	0,09	0,92
15. „	0,6	43,3	58,8	102,1 ± 2,7	0,09	0,86
16. „	0,9	45,2	61,6	106,8 ± 2,5	0,11	0,86
17. Bas. Phosphat Lübeck	0,3	47,3	62,3	109,6 ± 3,1	0,07	0,95
18. „	0,6	48,1	65,5	113,7 ± 1,2	0,07	1,00
19. „	0,9	44,8	61,7	106,5 ± 3,6	0,20	1,20
20. Wasag-Phosphat	0,3	46,2	63,9	110,1 ± 2,2	0,12	1,17
21. „	0,6	47,1	62,7	110,7 ± 1,9	0,25	1,07
22. „	0,9	47,7	63,9	111,5 ± 3,1	0,32	1,17
23. Kaliglühphosphat	0,3	44,9	62,0	106,9 ± 2,1	0,11	1,03
24. „	0,6	46,4	65,0	111,4 ± 1,7	0,17	1,03
25. „	0,6	49,2	68,9	118,1 ± 2,9	0,13	1,09
26. Kaliglühphosphat		46,3	65,0	111,3 ± 5,7	0,11	0,93
27. „		45,5	64,7	110,2 ± 2,8	0,13	1,09
28. „ Kaligehalt berücksichtigt.		48,0	64,5	112,5 ± 2,2	0,10	1,01

Untersuchungen der Erntesubstanz zur Feststellung der Phosphorsäureaufnahme.

Der Phosphorsäuregehalt der Erntesubstanz wurde sowohl für Korn wie für Stroh bei jeder Düngung festgestellt. Dabei wurden folgende Zahlen gefunden:

	Boden-Stormstorf						Boden Anna-Luisenhof					
	Korn			Stroh			Korn			Stroh		
	0,3 g	0,6 g	0,9 g	0,3 g	0,6 g	0,9 g	0,3 g	0,6 g	0,9 g	0,3 g	0,6 g	0,9 g
	P_2O_5 in %			P_2O_5 in %			P_2O_5 in %			P_2O_5 in %		
1. Ohne Phosphorsäure		0,73			0,07			0,90			0,06	
2. Thomasmehl	0,77	0,90	0,97	0,07	0,07	0,10	1,06	1,00	1,16	0,10	0,17	0,27
3. Rhenaniaphosphat	0,95	0,83	0,93	0,09	0,07	0,08	1,09	1,11	1,07	0,09	0,11	0,23
4. Superphosphat	0,80	0,87	0,90	0,08	0,07	0,15	0,99	1,11	1,09	0,13	0,22	0,34
5. Rénophosphat (26%)	0,84	0,78	0,73	0,10	0,07	0,07	0,97	0,89	0,89	0,07	0,06	0,08
6. Rénophosphat (30%)	0,84	0,81	0,80	0,08	0,07	0,06	0,92	0,86	0,86	0,09	0,09	0,11
7. Bas. Phosphat Lübeck	0,80	0,76	0,89	0,05	0,05	0,07	0,95	1,00	1,20	0,07	0,07	0,20
8. Wasag-Phosphat	0,84	1,01	0,99	0,06	0,08	0,13	1,17	1,07	1,17	0,12	0,25	0,32
9. Kaliglühphosphat	0,77	0,80	0,81	0,06	0,07	0,08	1,03	1,03	1,09	0,11	0,17	0,13

Vergleicht man zunächst die Ergebnisse der beiden Böden miteinander, so erkennt man, daß die Gehaltssteigerung im Korn eine weitgehende Gleichmäßigkeit zeigt, während beim Stroh starke Unterschiede bestehen. Die Phosphorsäureaufnahme aus dem sauren Sandboden *Stormstorf* ist augenscheinlich bei allen Düngern stark gehemmt worden. Die beste Aufnahme im Stroh zeigt sich bei den wasserlöslichen Phosphorsäuredüngern, nämlich beim *Superphosphat* und *Wasag-Phosphat*, und auch hier nur bei der höchsten Gabe; gering oder nicht vorhanden ist sie bei den übrigen Düngern, wobei beim *Rénophosphat* bei steigenden Gaben eine fallende Aufnahme festzustellen ist. Bemerkenswert sind jedoch die guten Gehaltszahlen bei der niedrigen Gabe des Rénophosphates.

Auch beim Boden *Anna-Luisenhof* wird die wasserlösliche Phosphorsäure des *Superphosphates* und des *Wasag-Phosphates* am stärksten aufgenommen, während das *Rénophosphat* auf diesem weniger sauren Boden besonders stark abfällt. Eine mittlere Aufnahme zeigen die übrigen Phosphorsäuredünger, wobei *Thomasmehl* an erster Stelle steht. Diese Reihenfolge entspricht ihrer Löslichkeit.

Im Ertrag sind jedoch Superphosphat und Wasag-Phosphat den übrigen Düngern mit Ausnahme des Rénophosphates nicht überlegen. Im Rénophosphat ist also die geringere Aufnehmbarkeit auf besserem mehr neutralen Boden mit schlechter Wirkung verbunden. Dies tritt besonders bei der hohen Phosphorsäuregabe deutlich hervor.

Versuche 1938.

Im Jahre 1938 wurden die Versuche fortgesetzt. Die Versuchsanordnung wurde jedoch dahingehend abgeändert, daß auf einem sauren Boden die Wirkung der verschiedenen Phosphorsäuredünger zu verschiedenen Versuchspflanzen geprüft wurde, um insbesondere festzustellen, ob die im Vorjahre zu Hafer festgestellten ungünstigen Ergebnisse mit Rénophosphat allgemein bestehen. Als weiterer Vergleichsdünger wurde in diesem Versuch weicherdiges Rohphosphat mit aufgenommen.

Die Versuche mit Wasag-Phosphat wurden auf neuer Grundlage angelegt, und zwar wurde auf einem leichten sauren Sandboden der Versuch einmal „mit Kalk" und einmal „ohne Kalk" durchgeführt, um die Abhängigkeit

der Wasag-Phosphat-Wirkung von dem Kalkzustand des Bodens zu studieren. Außerdem wurde ein weiterer Versuch auf einem mehr neutralen schwereren Boden mit der gleichen Versuchsfrucht Hafer ausgeführt.

Die Versuche mit Kaliglühphosphat wurden im Jahre 1938 nicht mehr fortgesetzt.

Die Ergebnisse sind folgende:

I. Vergleich von Rénophosphat und basischem Phosphat Lübeck mit Thomasmehl, Rohphosphat und Superphosphat.

Boden Neuhof:

Bodenart: humoser Sand
pH (KCl) = 4,4
hydr. Säure (y_1) = 12,8
Aust. Säure (y_1) = 2,0

Bodenmenge: 3150 g Boden + 3500 g Glassand
Neubauer-Analyse:
3,1 mg P_2O_5 (verdünnt = 1,5 mg)
8,4 mg K_2O

Grunddüngung: 1,5 g K_2O als Kaliumsulfat
1,0 g N als Ammoniumnitrat

Phosphorsäure nach Versuchsplan (siehe Ertragstabelle)

Versuchsfrüchte: S.-Gerste, deutsches Weidelgras, gelbe Süßlupine, z. T. Hafer.

Ergebnis:

1. S.-Gerste (Isaria)
Einsaat: 3. Mai 1938, aufgelaufen: 12. Mai 1938, geerntet: 16. August 1938.

Düngung	P_2O_5 g	Korn je Gefäß g	Mehr geg. ohne P_2O_5 Korn g	Stroh je Gefäß g	Gesamt-Gewicht	pH nach der Ernte	H.S. nach der Ernte
1. Ohne Phosphors.		22,4 + 0,3		30,6	53,0 ± 2,4	4,4	7,4
2. Thomasmehl	0,3	26,1 ± 1,4	+ 3,7	40,7	66,8 ± 2,4		
3. „	0,6	29,3 ± 2,2	+ 6,9	44,1	72,4 ± 1,0	4,8	6,2
4. „	0,9	29,4 ± 1,3	+ 7,0	44,3	73,7 ± 1,5		
5. Rénophosphat	0,3	22,4 ± 1,3	+ 0,0	35,8	58,2 ± 3,7		
6. „	0,6	23,8 ± 0,8	+ 1,4	36,2	60,0 ± 1,6	4,2	7,2
7. „	0,9	25,8 ± 0,7	+ 3,4	42,4	68,2 ± 1,6		
8. Rohphosphat	0,3	22,7 ± 0,9	+ 0,3	35,7	58,4 ± 0,8		
9. „	0,6	25,8 ± 0,8	+ 3,4	38,6	64,4 ± 1,6	4,3	8,2
10. „	0,9	24,5 + 0,7	+ 2,3	40,6	65,1 ± 1,1		
11. Superphosphat	0,3	24,6 ± 0,8	+ 2,2	36,7	61,3 ± 1,6		
12. „	0,6	24,5 ± 1,1	+ 2,1	38,6	63,1 ± 2,0	4,5	8,0
13. „	0,9	23,8 ± 2,2	+ 1,4	39,6	63,4 ± 3,7		
14. Bas. Phosphat	0,3	23,7 + 1,9	+ 1,3	38,4	62,1 ± 2,6		
15. „	0,6	26,7 ± 1,5	+ 3,3	41,5	68,2 ± 2,8	4,5	8,4
16. „	0,9	29,4 ± 1,6	+ 7,0	42,9	72,3 ± 2,5		

Folgende Verhältniszahlen ergeben sich in bezug auf den Gesamtertrag:

	0,3 g P_2O_5	0,6 g P_2O_5	0,9 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Thomasmehl	126	138	139
Superphosphat	116	119	120
Rohphosphat	110	121	123
Rénophosphat (30%)	110	113	129
Bas. Phosphat	117	129	137

Den besten Ertrag bringt bei allen drei Düngungen Thomasmehl, dann folgt das basische Phosphat Lübeck und schließlich mit annähernd gleicher Wirkung Superphosphat, Rohphosphat und Rénophosphat. Hieraus ergibt sich, daß zu einer säureempfindlichen Pflanze auf saurem Boden leicht aufnehmbare alkalische Dünger den Vorzug verdienen. Das Rénophosphat wirkt nicht besser als Rohphosphat. Erst die dreifache Menge an Rénophosphat ergibt die gleiche Wirkung wie die einfache Menge an Thomasmehl. Das Rohphosphat erreicht diese Wirkung bereits bei der zweifachen Gabe. Auch das Superphosphat ist auf diesen Böden ebenfalls nicht geeignet. Das basische Phosphat Lübeck zeigt nicht die Wirkung des Thomasmehls, besonders wenn man die geringe und mittlere Phosphorsäuregabe zugrunde legt. Diese Unterlegenheit war auch während der Vegetationszeit stets deutlich zu beobachten. Säureschäden am Gerstenblatt wurden bereits durch die kleine Thomasmehlgabe aufgehoben, beim basischen Phosphat Lübeck jedoch erst bei hohen Gaben.

2. Deutsches Weidelgras.

Einsaat: 2. Mai 1938, aufgelaufen: 12. Mai 1938, geerntet: 13. Juli 1938. (1. Schnitt).

Am 27. Juli wurde mit 0,5 g N je Gefäß nachgedüngt und am 15. September 1938 ein zweiter Schnitt genommen.

Ergebnis:

Düngung	P_2O_5 g	1. Schnitt g	Mehr gegen ohne P_2O_5	2. Schnitt g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Insgesamt	Mehr gegen ohne P_2O_5	P_2O_5 im 1. Schnitt %
1. Ohne Phosphors.		32,7 ± 0,9		23,2 ± 0,6		55,9		0,47
2. Thomasmehl	0,3	34,9 ± 1,5	+ 2,2	25,4 ± 0,6	+ 2,2	60,3	+ 4,4	0,57
3. „	0,6	34,0 ± 0,0	+ 1,3	24,5 ± 0,3	+ 1,3	58,5	+ 2,6	0,67
4. „	0,9	35,3 ± 0,2	+ 2,6	26,4 ± 0,9	+ 3,2	61,7	+ 5,8	0,68
5. Rénophosphat	0,3	32,8 ± 0,7	+ 0,1	24,4 ± 0,6	+ 1,2	57,2	+ 1,3	0,70
6. „	0,6	34,3 ± 0,6	+ 1,6	23,3 ± 0,8	+ 0,1	57,6	+ 1,7	0,73
7. „	0,9	37,2 ± 0,8	+ 4,5	25,8 ± 0,9	+ 2,6	63,0	+ 7,1	0,72
8. Rohphosphat	0,3	32,5 ± 0,6	— 0,2	21,9 ± 1,0	— 1,3	54,4	— 1,5	0,63
9. „	0,6	35,1 ± 1,2	+ 2,4	21,9 ± 0,5	— 1,3	57,0	+ 1,1	0,56
10. „	0,9	35,7 ± 0,5	+ 3,0	21,4 ± 1,2	— 1,8	57,1	+ 1,2	0,67
11. Superphosphat	0,3	37,5 ± 0,9	+ 4,8	19,2 ± 0,6	— 4,0	56,7	+ 0,8	0,67
12. „	0,6	38,8 ± 1,5	+ 6,1	20,8 ± 1,7	— 2,4	59,6	+ 3,7	0,78
13. „	0,9	39,1 ± 1,0	+ 6,4	20,5 ± 1,5	— 2,7	59,6	+ 3,7	0,82
14. Bas. Phosphat	0,3	38,3 ± 1,3	+ 5,6	20,3 ± 0,7	— 2,9	58,6	+ 2,7	0,66
15. „	0,6	37,6 ± 1,3	+ 4.9	20,2 ± 1,0	— 2,0	57,8	+ 1,9	0,76
16. „	0,9	38,8 ± 1,3	+ 6,1	20,6 ± 0,9	— 2,6	59,4	+ 3,5	0,77

Bereits die niedrigste Gabe an Phosphorsäure hat praktisch den Höchstertrag gebracht, so daß zum Vergleich der Wirkung

der einzelnen Düngemittel das Mittel aus den Erträgen der drei Düngungen in Beziehung zur ungedüngten Versuchsreihe gesetzt werden kann.

	1. Schnitt g	2. Schnitt g	Gesamt g	Gehalt an P_2O_5 im 1. Schnitt
Ohne Phosphorsäure	100,0	100,0	100,0	100,0
Thomasmehl	106,0	109,6	107,6	136,0
Superphosphat	117,8	87,1	104,8	162,0
Rohphosphat	105,0	90,7	101,5	132,0
Rénophosphat 30%	106,2	105,5	106,8	153,0
Bas. Phosphat Lübeck . . .	116,0	88,0	104,8	155,0

Die Gesamtwirkung zeigt zunächst, daß Weidelgras im Gefäßversuch, also unter günstigen Wärme- und Wasserverhältnissen, die Bodenphosphorsäure auch im sauren Boden in hohem Maße auszunutzen versteht, so daß die Düngerwirkung nur gering geblieben ist.

Zieht man aus dem Ergebnis des 1. Schnittes eine Schlußfolgerung hinsichtlich der Intensität der Düngerwirkung, so kann man feststellen, daß Superphosphat und basisches Phosphat Lübeck die überlegenen Dünger sind und Rénophosphat mit Thomasmehl und Rohphosphat auf einer Stufe steht. Im 2. Schnitt ist beim Superphosphat, basischen Phosphat Lübeck und Rohphosphat keine Nachwirkung mehr vorhanden, wohl aber beim Rénophosphat und noch mehr beim Thomasmehl, so daß im Gesamtertrage die Unterschiede wieder stark verwischt sind.

Rénophosphat ist also bei Anbau weniger säureempfindlicher Pflanzen, die außerdem ein gutes Aneignungsvermögen besitzen, den übrigen Düngern praktisch gleichwertig, besonders bei Anwendung hoher Gaben. Dem Rohphosphat zeigt es sich besonders hinsichtlich der Nachwirkung überlegen; es kann also zumindest dort angewandt werden, wo dieser Dünger empfohlen werden kann (z. B. auf sauren Hochmoorböden). Die leichtere Aufnehmbarkeit der Rénophosphatphosphorsäure gegenüber derjenigen des Rohphosphates geht auch aus der Analyse der Erntesubstanz hervor (vgl. letzte Spalte der Tabelle).

Das basische Phosphat Lübeck wirkt in diesem Versuch wie Superphosphat, verhält sich also wie ein schnell wirkendes Düngemittel, im Gegensatz zu Thomasmehl, das langsam, dafür aber nachhaltiger wirkt. Die Aufnehmbarkeit seiner Phosphorsäure ist besser als die des Thomasmehles und etwas geringer als die des Superphosphates. Sie entspricht damit den Erwartungen auf Grund der Löslichkeit in Zitronensäure bzw. Zitratlösung.

3. zu gelber Süßlupine:

Eingesät: 3. Mai 1938. Verzogen auf 7 Pflanzen am 7. Juni 1938. Geerntet ab 2. September 1938.

Ergebnis:

Düngung	P_2O_5 g	Korn g	Stroh g	Gesamt	pH nach d. Ernte	H. S. nach d. Ernte
1. Ohne Phosphorsäure		20,9±1,7	68,2	89,1±2,3	4,1	7,8
2. Thomasmehl	0,3	21,6±2,8	71,4	93,0±5,0	4,2	8,0
3. „	0,6	23,4±0,3	72,9	96,3±2,2		
4. „	0,9	23,1±2,1	80,5	103,6±2,3		
5. Rénophosphat	0,3	17,6±0,7	70,1	87,7±2,0	4,2	7,8
6. „	0,6	17,8±0,8	62,0	79,8±2,7		
7. „	0,9	18,9±1,7	67,4	86,3±4,9		
8. Rohphosphat	0,3	17,8±0,8	65,8	83,6±2,3	4,2	8,4
9. „	0,6	20,6±2,9	69,7	90,3±3,2		
10. „	0,9	21,7±0,8	72,6	94,3±3,3		
11. Superphosphat	0,3	23,3±0,1	66,4	89,7±3,0	4,0	8,0
12. „	0,6	18,6±1,4	64,0	82,6±4,4		
13. „	0,9	19,0±0,7	68,4	87,4±3,1		
14. Bas. Phosphat Lübeck	0,3	20,5±0,6	66,8	87,3±3,6	4,2	8,4
15. „	0,6	20,3±0,8	65,2	85,3±5,7		
16. „	0,9	21,4±2,0	68,0	87,5±7,0		

Das Verhältnis der Düngerwirkung in bezug auf den Gesamtertrag ist folgendes:

	0,3 g P_2O_5	0,6 g P_2O_5	0,9 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Thomasmehl	104	108	116
Superphosphat	101	93	98
Rohphosphat	94	101	106
Rénophosphat	98	90	97
Bas. Phosphat Lübeck	98	96	98

Trotz des niedrigen Phosphorsäuregehaltes des Bodens ist ein Mehrertrag nur durch die Thomasmehlgabe eingetreten. Sämtliche übrigen Dünger haben mit Ausnahme des Rohphosphates bei der hohen Gabe nicht gewirkt.

4. zu Hafer:

Eingesät: 9. April 1938. Aufgelaufen: 9. Mai 1938. Geerntet: 7. August 1938. In diesem Versuch wurden nur Thomasmehl, Rénophosphat und Rohphosphat verglichen.

Das Wirkungsverhältnis in bezug auf den Gesamtertrag bei den drei Einzeldüngungen ist folgendes:

Bei der höchsten Gabe an Phosphorsäure zeigt sich das Thomasmehl den übrigen Düngern gegenüber überlegen, nicht jedoch bei der kleinen und mittleren Gabe. Daß Réno- und Rohphosphat im Gesamtertrag eine gute Wirkung zeigen, ist auf die starke Ertragssteigerung beim Stroh zurückzuführen, bei

Ergebnis:

Düngung	P_2O_5 g	Korn je Gefäß g	Stroh je Gefäß g	Gesamt	P_2O_5 im Korn %	P_2O_5 im Stroh %
1. Ohne Phosphorsäure		23,4±3,9	38,3	61,7±7,0	0,74	0,21
2. Thomasmehl	0,3	26,8±2,7	50,3	77,1±4,0	0,79	0,21
3. „	0,6	26,9±2,6	56,0	82,9±4,9	0,94	0,24
4. „	0,9	27,3±1,7	59,3	86,6±1,5	1,01	0,35
5. Rénophosphat	0,3	25,4±1,5	54,0	79,4±1,7	0,87	0,27
6. „	0,6	23,1±3,6	57,6	80,7±4,5	1,02	0,31
7. „	0,9	21,3±2,0	55,6	76,9±2,0	0,90	0,40
8. Rohphosphat	0,3	23,8±3,5	50,0	73,8±5,0	0,80	0,23
9. „	0,6	26,8±1,5	54,8	81,6±2,5	0,86	0,21
10. „	0,9	24,2±1,6	55,8	80,0±1,5	0,83	0,30

	0,3 g P_2O_5	0,6 g P_2O_5	0,9 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Thomasmehl	125	134	140
Rénophosphat	129	131	125
Rohphosphat	120	132	130

dem bei allen drei Düngern keine wesentlichen Unterschiede bestehen. In bezug auf den Kornertrag sind die Ertragsdifferenzen nur gering, außerdem bei hohen mittlerem Fehler nicht gesichert.

Wie die Untersuchung der Ernteprodukte zeigt, ist die Rénophosphatphosphorsäure bei allen drei Düngergaben stärker als beim Rohphosphat und Thomasmehl aufgenommen worden.

Man ist deshalb versucht, die günstige Wirkung des Thomasmehles auf den Einfluß besonderer Nebenbestandteile dieses Düngers zurückzuführen.

Ergebnis vom Versuch ohne Kalk.

Düngung	P_2O_5 g	Korn g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Stroh g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Gesamt	pH nach der Ernte	H.S. nach der Ernte
1. Ohne Phosphors.		21,0±2,0		36,9		57,9+4,0	4,4	10,2
2. Superphosphat	0,2	25,7±2,0	4,7	51,4	14,5	77,1±3,4	4,3	10,0
3. „	0,4	30,9±1,6	9,9	58,4	21,5	89,3±1,2		
4. „	0,8	30,2±1,7	9,2	59,1	22,2	89,3±2,1		
5. Wasagphosphat	0,2	27,7±1,3	6,7	52,6	15,7	80,3±2,3	4,4	10,2
6. „	0,4	30,6±3,2	9,4	54,6	17,7	85,2±3,8		
7. „	0,8	27,1±3,0	6,1	57,4	20,5	84,5±3,1		
8. Thomasmehl	0,2	26,1±2,3	5,1	49,1	12,2	75,2±4,2	4,3	10,4
9. „	0,4	29,7±1,1	8,7	52,9	16,0	82,6±1,4		
10. „	0,8	29,2±1,0	8,2	57,0	20,1	86,2±2,1		
11. Rhenaniaphosph.	0,2	26,2±1,3	5,2	50,3	13,4	76,5±2,3	4,5	8,2
12. „	0,4	30,3±2,6	9,3	54,7	17,8	85,0±3,0		
13. „	0,8	29,6±2,9	8,6	58,1	21,2	87,7±1,0		

II. Vergleich von Wasag-Phosphat mit Superphosphat, Thomasmehl und Rhenaniaphosphat.

Versuch 1:

Es wurde der gleiche Boden wie bei den vorhergehenden Versuchen benutzt.

Versuchsfrucht war Hafer. Düngung je Gefäß: 1,5 g K_2O als Kaliumsulfat; 1,0 g N als Ammoniumnitrat.

Phosphorsäure nach Versuchsplan (s. Ertragstabelle). Wiederholung vierfach.

Das Wirkungsverhältnis in bezug auf den Gesamtertrag ist folgendes:

	0,2 g P_2O_5	0,4 g P_2O_5	0,8 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Superphosphat	133	154	154
Wasagphosphat	139	147	146
Thomasmehl	130	143	149
Rhenaniaphosphat	132	147	151

Die Dünger haben praktisch gleichen Ertrag gebracht. Bei der geringsten Gabe war Wasag-Phosphat etwas überlegen, jedoch ist dieses Ergebnis infolge hohen Fehlers nicht sicher. Während der Vegetationszeit zeigten die Pflanzen der mit Thomasmehl und Rhenaniaphosphat gedüngten Gefäße das gesundere Aussehen.

Ergebnis vom Versuch mit Kalk.

Düngung	P_2O_5 g	Korn g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Stroh g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Gesamt	pH nach der Ernte	H.S. nach der Ernte
1. Ohne Phosphors.		13,1 ± 1,7		26,0		39,1 ± 0,8	4,6	8,0
2. Superphosphat	0,2	21,5 ± 1,5	8,4	41,3	15,3	62,8 + 2,6	4,5	8,4
3. „	0,4	25,9 ± 1,0	12,8	48,4	22,4	74,3 + 1,5		
4. „	0,8	25,0 ± 2,1	11,9	52,8	26,8	77,8 ± 2,9		
5. Wasagphosphat	0,2	18,2 ± 0,5	5,1	33,9	7,9	52,1 ± 2,4	4,5	8,0
6. „	0,4	26,5 ± 1,4	13,4	46,4	20,4	72,9 ± 2,9		
7. „	0,8	23,0 ± 1,3	9,9	49,2	23,2	72,2 ± 2,1		
8. Thomasmehl	0,2	16,1 ± 1,6	3,0	34,5	8,5	50,6 ± 3,2	4,9	7,2
9. „	0,4	21,2 ± 2,1	8,1	43,0	17,0	64,2 ± 5,2		
10. „	0,8	30,7 ± 1,3	17,6	55,1	29,1	85,8 ± 1,8		
11. Rhenaniaphosph.	0,2	20,4 ± 1,7	7,3	34,6	8,6	55,0 ± 2,5	5,0	7,2
12. „	0,4	21,9 ± 2,3	8,8	40,9	14,9	62,8 + 3,0		
13. „	0,8	27,7 ± 1,5	14,6	47,3	21,3	75,0 ± 2,7		

Das Wirkungsverhältnis in bezug auf den Gesamtertrag bei den drei Einzelgaben ist folgendes (s. S. 125 oben):

Der Vergleich zeigt, daß im gekalkten Boden Superphosphat dem Wasag-Phosphat und den alkalischen Düngern Thomasmehl und Rhenaniaphosphat, insbesondere bei

	0,2 g P_2O_5	0,4 g P_2O_5	0,8 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Superphosphat	164	190	199
Wasagphosphat	139	186	184
Thomasmehl	123	164	220
Rhenaniaphosphat	156	161	192

kleiner Gabe, überlegen ist. Bei hoher Gabe wird die Wirkung der alkalischen Dünger, vor allem des Thomasmehls, stark verbessert. Wasag-Phosphat hat im Gegensatz zu Thomasmehl und Rhenaniaphosphat die Reaktion des Bodens nicht verbessern können.

Gegenüberstellung der Ergebnisse vom ungekalkten und gekalkten Versuch.

Düngung	P_2O_5 g	ungekalkt (g Korn)	gekalkt (g Korn)	ungekalkt (g Stroh)	gekalkt (g Stroh)	Differenz Korn	(ungekalkt minus gekalkt) Stroh
1. Ohne Phosphors.		21,0	13,1	36,9	26,0	— 7,9	— 10,9
2. Superphosphat	0,2	25,7	21,5	51,4	41,3	— 4,2	— 10,1
3. „	0,4	30,9	25,9	58,4	48,4	— 5,0	— 10,0
4. „	0,8	30,2	25,0	59,1	52,8	— 5,2	— 6,3
5. Wasagphosphat	0,2	27,7	18,2	52,6	33,9	— 9,5	— 8,7
6. „	0,4	30,6	26,5	54,6	46,4	— 4,1	— 8,2
7. „	0,8	27,1	23,0	57,4	49,2	— 4,1	— 8,2
8. Thomasmehl	0,2	26,1	16,1	49,1	34,5	— 10,0	— 14,6
9. „	0,4	29,7	21,2	52,9	43,0	— 8,5	— 9,9
10. „	0,8	29,2	30,7	57,0	55,1	+ 1,5	— 1,9
11. Rhenaniaphosphat	0,2	26,2	20,4	50,3	34,6	— 5,8	— 15,7
12. „	0,4	30,3	21,9	54,7	42,9	— 8,4	— 11,8
13. „	0,8	29,6	27,7	58,1	47,3	— 1,9	— 10,8

Durch die Kalkung, die nur 3 g $CaCO_3$ je Gefäß betrug und die die Reaktion nur unwesentlich verbessert hat, ist eine erhebliche Depression im Ertrage eingetreten. Diese wird in bezug auf den Kornertrag durch die höchste Gabe an Thomasmehl und Rhenaniaphosphat aufgehoben, nicht jedoch durch Superphosphat und Wasag-Phosphat.

In bezug auf den Strohertrag zeigt nur das Thomasmehl bei hohen Gaben eine ausreichende Wirkung.

Ergebnisse der Erntesubstanz-Analysen und der Bodenuntersuchung. (Gefäß mit 0,4 g P_2O_5.)

Um die Phosphorsäureaufnahme durch die verschiedenen Düngemittel im gekalkten und ungekalkten Boden festzustellen, wurden die Ernteprodukte (Korn und Stroh) auf ihren Phosphorsäuregehalt untersucht; desgleichen der Boden aus den Gefäßen nach der Ernte auf wurzellösliche Phosphorsäure.

Ernte — Analyse und Bodenuntersuchung.

Ungekalkt	Korn g	P_2O_5 %	Entzug mg	Stroh g	P_2O_5 %	Entzug mg	Gesamtentzug mg	mg P_2O_5 i. Boden n. d. Ernte
1. Ohne Phosphorsäure	21,0	0,70	174	36,9	0,126	465	639	0,5
2. Superphosphat 0,4 g	30,9	0,79	244	58,4	0,147	859	1103	0,6
3. Wasagphosph. 0,4 g	30,6	0,79	242	54,6	0,176	961	1203	0,2
4. Thomasmehl 0,4 g	29,7	0,71	211	52,9	0,145	767	978	0,2
5. Rhenaniaph. 0,4 g	30,3	0,87	263	54,7	0,188	1030	1293	0,5
Gekalkt								
1. Ohne Phosphorsäure	13,1	0,89	117	26,0	0,201	523	640	0,7
2. Superphosphat 0,4 g	25,9	0,90	233	48,4	0,209	1010	1243	1,4
3. Wasagphosph. 0,4 g	26,5	0,85	225	46,4	0,176	817	1042	1,3
4. Thomasmehl 0,4 g	21,2	0,78	165	43,0	0,202	870	1035	1,6
5. Rhenaniaph. 0,4 g	21,9	1,08	236	42,9	0,177	760	996	0,6

Aus den Ergebnissen ist zunächst zu ersehen, daß durch die Kalkung der Phosphorsäuregehalt beim Korn in jeder Versuchsreihe erhöht worden ist. Beim Stroh ist mit Ausnahme der Versuchsreihe „Wasag-Phosphat" und „Rhenaniaphosphat" eine noch größere Steigerung eingetreten, so daß der Gesamtertrag bei den übrigen Versuchsreihen trotz niedrigeren Ertrages bei „gekalkt" höher liegt als bei „ungekalkt".

Vergleicht man die Gesamtaufnahme bei den einzelnen Düngemitteln, so sind bei „ohne Kalk" Rhenaniaphosphat und Wasagphosphat am besten aufgenommen worden. Bei „mit Kalk" steht jedoch Superphosphat an erster und Rhenaniaphosphat an letzter Stelle. Wasag-Phosphat wird also auf saurem Boden besser verwertet als Superphosphat und umgekehrt auf gekalktem Boden Superphosphat besser als Wasag-Phosphat. Die Ertragsunterschiede zwischen den Düngern sind jedoch in beiden Fällen gering. Die Bodenuntersuchung zeigt, daß in den gekalkten Gefäßen der Gehalt an wurzellöslicher Phosphorsäure im Mittel etwas höher liegt als in den ungekalkten Gefäßen. Die Erhöhung dürfte auf eine Mobilisierung der Bodenphosphorsäure durch die Kalkung zurückzuführen sein.

Versuch 2.

Im zweiten Gefäßversuch diente als Versuchsboden ein schwach saurer sandiger Lehmboden, der bei der Untersuchung folgende Zahlen aufwies:

Boden: Gerdshagen

pH (KCl) = 5,2	5,1 mg P_2O_5	nach Neubauer
Hydr. Säure: = 7,4	23,2 mg K_2O	nach Neubauer
Wasserkapazität: 33,1 %	2,5 mg P_2O_5 im verdünnten Boden.	

Um eine gesicherte Phosphorsäurewirkung zu erzielen, wurde der Boden zur Hälfte mit Glassand verdünnt. Versuchspflanze war Hafer. Am 28. März 1938 wurde der Dünger eingemischt, am 29. April eingesät und am 19. und 20. August 1938 geerntet.

Die Grunddüngung betrug: 1,0 g N als Ammoniumnitrat
1,5 g K_2O als Kaliumsulfat
Phosphorsäure s. Ertragstabelle.

Versuchsergebnis.

Düngung	P_2O_5 g	Korn g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Stroh g	Mehr gegen ohne P_2O_5	Gesamt
1. Ohne Phosphorsäure		20,7 ± 1,2		32,2		52,9 ± 3,3
2. Superphosphat	0,2	31,3 ± 2,1	10,6	52,3	20,1	83,6 ± 3,9
3. „	0,4	34,2 ± 1,4	13,5	56,2	24,0	90,4 ± 1,7
4. „	0,8	34,4 ± 0,7	13,7	59,5	27,3	93,9 ± 0,4
5. Wasag-Phosphat	0,2	28,2 ± 1,4	7,5	49,7	16,5	78,0 ± 2,1
6. „	0,4	31,3 ± 0,7	10,6	56,3	24,1	87,6 ± 2,7
7. „	0,8	36,1 ± 1,7	15,4	59,1	26,9	95,2 ± 2,6
8. Thomasmehl	0,2	31,6 ± 0,5	10,9	48,4	16,6	81,4 ± 0,9
9. „	0,4	33,7 ± 0,6	13,0	55,9	23,7	89,6 ± 1,3
10. „	0,8	34,5 ± 0,8	13,8	56,6	24,4	89,4 ± 1,8
11. Rhenaniaphosphat	0,2	29,7 ± 1,0	9,0	50,7	18,5	80,4 ± 1,5
12. „	0,4	33,2 ± 2,0	12,5	54,7	22,5	87,9 ± 3,3
13. „	0,8	37,5 ± 3,0	17,8	58,4	26,2	96,9 ± 2,4

Setzt man den Ertrag von „ohne Phosphorsäure" = 100, so ergibt sich folgendes Wirkungsverhältnis für den Gesamtertrag:

	0,2 g P_2O_5	0,4 g P_2O_5	0 8 g P_2O_5
Ohne Phosphorsäure	100	100	100
Superphosphat	158	171	177
Wasagphosphat	147	166	180
Thomasmehl	154	169	169
Rhenaniaphosphat	152	166	183

Bei sehr starker Ertragssteigerung durch die Phosphorsäuredüngung sind die Unterschiede der einzelnen Düngemittel nur gering und innerhalb der Fehlergrenze liegend. Es kann also festgestellt werden, daß Wasag-Phosphat auf schwach sauren Böden zu wenig säureempfindlichen Pflanzen die gleiche Wirkung wie die übrigen Düngemittel zeigen wird.

Untersuchung der Erntesubstanz und des Bodens.

Zur Feststellung der Phosphorsäureaufnahme wurde Korn und Stroh sowie der Boden nach der Ernte auf Phosphorsäure untersucht. Es wurde hierfür nur die Versuchsreihe mit 0,4 g P_2O_5 herangezogen. Das Ergebnis ist folgendes:

Düngung	Korn		Entzug	Stroh		Entzug	mg P_2O_5 im Boden nach Neubauer
	Ertrag g	P_2O_5 %	mg	Ertrag g	P_2O_5 %	mg	
1. Ohne Phosphorsäure	20,7	0,63	130	32,2	0,10	32	1,4
2. Superphosphat	34,2	0,74	253	56,2	0,13	73	1,9
3. Wasag-Phosphat	31,3	0,72	225	56,3	0,11	62	1,7
4. Thomasmehl	33,7	0,64	216	55,9	0,10	56	2,6
5. Rhenaniaphosphat	33,2	0,73	242	54,7	0,13	71	1,3

Der Phosphorsäuregehalt in den einzelnen Düngungsreihen weicht nur wenig voneinander ab. Der Gesamtentzug an Phosphorsäure ist in der Superphosphatreihe etwas stärker als in der Wasag-Phosphatreihe.

Die Bodenuntersuchung zeigt ebenfalls keine erheblichen Unterschiede.

III. Vergleich der Streufähigkeit von Wasag-Phosphat und Superphosphat.

Nach den Angaben der Hersteller des Wasag-Phosphates soll dieses Produkt „streufest" sein, d. h. es soll im Gemisch mit anderen Düngersalzen, insbesondere mit Kalisalzen, auch bei längerem Lagern unter den Verhältnissen in einem praktischen Betrieb zu keiner Verschmierung der Mischung führen.

Um diese Frage zu klären, wurden im Frühjahr 1937 in einem Betrieb in der Nähe Rostocks folgende Streuversuche durchgeführt:

1. 100 kg Wasag-Phosphat allein gestreut,
2. gemischt und sofort gestreut,
   a) 60 kg Wasag-Phosphat + 50 kg 40er Kali
   b) 60 kg Wasag-Phosphat + 50 kg schwefelsaures Ammoniak
   c) 60 kg Wasag-Phosphat + 50 kg 40er Kali + 60 kg schwefels. Ammoniak
3. einen Tag vor dem Streuen gemischt, sonst wie unter 2.
4. sieben Tage vor dem Streuen gemischt, sonst wie unter 2.
5. einen Monat vor dem Streuen gemischt, sonst wie unter 2.

Jede Mischung wurde zweimal angesetzt und zum Vergleich derselbe Ansatz mit gewöhnlichem Superphosphat durchgeführt.

Ergebnis:

1. Wasag-Phosphat und Superphosphat allein gestreut.

Die Phosphate blieben 3 Wochen auf der Tenne in Säcken stehen. Während das normale Superphosphat nach dieser Zeit locker blieb, sich aber etwas feucht anfühlte, war das Wasag-Phosphat etwas fest geworden, ließ sich jedoch mit der Hand leicht wieder zerbröckeln und fühlte sich locker an. Die Streufähigkeit mit der Maschine war ohne nennenswerte Unterschiede. Das Wasag-Phosphat schien besser zu laufen.

Feuchtigkeitsgehalt: Wasag-Phosphat: 8,64 %
normales Superphosphat: 11,45 %.

2. Mischungen der Phosphate mit 40er Kali und schwefelsaurem Ammoniak sofort bzw. nach 1 Tag gestreut.

Das Urteil über „sofort gestreut" bzw. „nach 1 Tag gestreut" kann zusammengefaßt werden, da sich Unterschiede nicht ergaben.

a—b) Mischungen beider Phosphate blieben locker und waren gleich gut streubar.

c) Bei der Volldüngungsmischung lief diejenige mit Wasag-Phosphat etwas schneller durch die Maschine, so daß die Maschine enger gestellt werden mußte, da andernfalls etwa 1 dz/ha Mischung mehr gestreut worden wäre. Die Witterung war während der Streuzeit gut.

3. Die Streuzeit nach 8 Tagen konnte wegen ungünstiger Witterung und dadurch hinausgezögerter Bestellzeit nicht ein-

gehalten werden. Sie wurde deshalb mit derjenigen vereinigt, die nach 4 Wochen fällig war.

a) Mischungen mit 40er Kalisalz blieben bei beiden Phosphaten locker.

Feuchtigkeitsgehalt:

	Beim Ansetzen	Nach 4 Wochen
Wasag-Kali	6,37 %	6,80 %
Normales Superphosphat-Kali	9,59 %	9,36 %

Beim Streuen schien die Wasag-Mischung etwas schneller durch die Maschine zu laufen.

b—c) Die Mischungen mit schwefelsaurem Ammoniak bzw. mit schwefelsaurem Ammoniak + 40er Kali wurden bei beiden Phosphaten fest und mußten vor dem Streuen im Sack zerschlagen werden. Sie waren dann beide streufähig, wobei jedoch die Mischungen mit Wasag-Phosphat einen trockeneren Eindruck machten und auch etwas schneller durch die Maschine liefen.

Die gleichen Mischungen blieben außerdem noch insgesamt 6 Wochen stehen. Auch diese Versuche führten jedoch zu keinem anderen Ergebnis. Zu erwähnen ist, daß das zum Vergleich dienende normale Superphosphat von besonders guter Beschaffenheit und Streufähigkeit war.

Zur Feststellung der Streufähigkeit und des Verhaltens bei längerer Lagerung wurden gleichzeitig kleinere Düngermengen in Säcken in einem Raum der Versuchsstation Rostock 4 Monate (Juli—November) aufbewahrt. Das Ergebnis war folgendes:

1. 2 kg Wasag-Phosphat: Zunahme der Feuchtigkeit von 8,64% auf 13,22%.

Das Phosphat bleibt ziemlich trocken, es sind nur einige Klumpen vorhanden, die sich jedoch leicht mit der Hand zerbröckeln lassen. Das Produkt ist gut streufähig.

2. 2 kg Superphosphat: Zunahme der Feuchtigkeit von 11,45% auf 30,58%.

Das Phosphat ist naß und schmierig und nicht mehr streufähig.

3. 3 kg Wasag-Phosphat + 2½ kg 40er Kali: Zunahme der Feuchtigkeit von 5,68% auf 15,00%.

Die Mischung ist etwas feucht und klumpig, läßt sich jedoch zerbröckeln und ist dann streufähig.

4. 3 kg Superphosphat + 2½ kg 40er Kali: Zunahme der Feuchtigkeit von 7,21% auf 24,85%.

Die Mischung ist naß und schmierig und nicht mehr streufähig.

5. 3 kg Wasag-Phosphat + 3 kg schwefelsaures Ammoniak: Zunahme der Feuchtigkeit von 4,67% auf 13,45%.

Die Mischung ist unten im Sack schmierig, dagegen oben trockener. Ferner ist sie hart geworden, läßt sich in den trockenen Teilen zerbröckeln und ist dann noch streubar.

6. 3 kg Superphosphat + 3 kg schwefelsaures Ammoniak: Zunahme der Feuchtigkeit von 5,97% auf 15,28%.

Die Mischung ist unten im Sack naß, oben jedoch trockener. Es sind einige Verhärtungen aufgetreten, die sich jedoch zerbröckeln lassen. Die Mischung ist in den trockenen Teilen noch streubar.

7. 3 kg Wasag-Phosphat + 2½ kg 40er Kali + 3 kg schwefelsaures Ammoniak: Zunahme der Feuchtigkeit von 3,86% auf 13,84%.

Die Mischung ist ziemlich verhärtet, läßt sich jedoch noch zerkleinern. In den oberen trockenen Teilen ist sie noch streubar.

8. 3 kg Superphosphat + 2½ kg 40er Kali + 3 kg schwefelsaures Ammoniak.

Zunahme der Feuchtigkeit von 4,83% auf 19,55%

Die Mischung ist ziemlich verhärtet. Der untere Teil im Sack ist feuchter als bei der Wasag-Phosphat-Mischung. Die Verhärtungen lassen sich mit der Hand zerkleinern und sind in den trockneren Teilen streubar.

Letzterer Lagerungsversuch wurde im Jahre 1938 noch einmal wiederholt. Es wurden wiederum die gleichen Mischungen angesetzt und der Wassergehalt zu Beginn des Versuches und am Ende des Versuches (nach 6 Monaten, Juli—Dezember) bestimmt. Dabei ergaben sich folgende Gehaltszahlen und Beurteilungen:

Dünger bzw. Mischung	% Feuchtigkeit		Urteil
	bei Beginn des Versuches (Juni 1938)	am Ende des Versuches (Dez. 1938)	
1. Wasag-Phosphat	5,50	14,5	pulverig, gut streufähig
2. Superphosphat, normal	9,64	11,5	pulverig, gut streufähig
3. Wasag-Phosphat + 40er Kali	3,68	25,7	feucht, etwas klebrig bedingt streufähig
4. Superphosphat + 40er Kali	7,34	40,6	naß und schmierig, nicht streufähig
5. Wasag-Phosphat + schwefels. Ammoniak	3,51	7,8	etwas feucht, krümelig, streufähig
6. Superphosphat + schwefels. Ammoniak	6,08	9,7	etwas feucht, krümelig, streufähig
7. Wasag-Phosphat + 40er Kali + schwefels. Ammoniak	3,94	17,8	z. T. stückig, läßt sich zerdrücken, feucht, bedingt streufähig
8. Superphosphat + 40er Kali + schwefels. Ammoniak	3,82	16,8	z. T. stückig, läßt sich zerdrücken, feucht, bedingt streufähig

Die Ergebnisse im Vorjahre sind im allgemeinen bestätigt worden, wenn sich auch einzelne Abweichungen, bedingt durch Unterschiede im Lagerungsraum (1937 Zementfußboden, 1938 Bretterunterlage), zeigen. So ist das normale Superphosphat im letzten Versuch vollkommen streufähig geblieben.

Insgesamt kann aus diesen Lagerungsversuchen die Schlußfolgerung gezogen werden, daß in bezug auf die Streufähigkeit Wasag-Phosphat dem Superphosphat überlegen ist. Dies gilt insbesondere für eine Mischung mit Kalisalzen.

Laboratoriums-Versuche.

Vergleich der Ausnutzung der verschiedenen Phosphate im Neubauerversuch.

Da die Neubauermethode ein geeignetes Mittel zu sein scheint, die Wurzellöslichkeit eines unbekannten Düngermittels im Vergleich zu bekannten Düngermitteln festzustellen, wurde folgende Versuchsanordnung getroffen:

3 mg P_2O_5 in Form der verschiedenen Düngermittel wurden mit 100 g Glassand vermischt auf den Boden des Gefäßes gebracht und weiter in bekannter Weise angesetzt und nach 17 Tagen geerntet.

Blinder Versuch: Vierfach. Versuch: Dreifach. Das Ergebnis war folgendes:

Düngung		mg P_2O_5 in 100 g Boden	Dünger mg	Aufgenommene Menge in mg	In % der geernteten Menge
1. Blinder Versuch		—	—	—	—
2. Thomasmehl	(17,85 %)	3	16,8	2,9 ± 0,38	96,8
3. Rhenaniaphosphat	(27,6 %)	3	10,9	2,9 ± 0,23	96,8
4. Superphosphat	(18,1 %)	3	16,6	3,4 ± 0,41	113,2
5. Rénophosphat	(30,09 %)	3	10,0	2,4 ± 0,09	80,0
6. Rohphosphat	(29,45 %)	3	10,2	(2,3 ± 0,82) 1,6 ± 0,0	(76,7) 53,4
7. Bas. Phosph. Lübeck	(19,46 %)	3	15,4	2,8 ± 0,21	93,5

Der Versuch zeigt, daß Phosphorsäuremengen, wie sie auf dem Felde praktisch noch gegeben werden können (in diesem Falle 90 kg/ha) bei den Düngern Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und Superphosphat praktisch zu 100 % von den Keimpflanzen aufgenommen werden. Auch das neue basische Phosphat Lübeck steht diesen Düngern nicht nach. Die Ausnutzung des Réno- und Rohphosphates dagegen bleibt deutlich zurück. Beim Rohphosphat ist der Fehler ziemlich beträchtlich, da ein Wert starke Abweichung zeigte (1,6; 1,6; 3,7). Da dieser höher liegt als theoretisch möglich ist, besteht die Wahrscheinlichkeit eines Analysenfehlers. Lassen wir deshalb diesen Wert unberücksichtigt, so zeigt sich Rénophosphat dem Rohphosphat deutlich überlegen. Des weiteren kann die Schlußfolgerung gezogen werden, daß Rénophosphat bei Anwendung der doppelten Menge mindestens die gleichen wurzellöslichen Phosphorsäuremengen zur Verfügung stellen wird wie die übrigen Dünger. Zu prüfen wäre jedoch noch, wie sich die Ausnutzung nach längerer Einwirkung des Düngers auf verschiedenen Bodenarten verhält.

Zusammenfassung:

Die Ergebnisse der vorliegenden Versuche zur Prüfung mehrerer neuer Phosphorsäuredünger lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Hyperphosphat Réno:

Bei diesem Produkt handelt es sich um ein hochprozentiges basisches Phosphat, dessen Gesamtphosphorsäure zu etwa 40 % zitronensäurelöslich ist. Es erreicht in den Gefäßversuchen nicht die Wirkung der bisher gebräuchlichen Phosphorsäuredüngemittel Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und Superphosphat. Seine Aufnehmbarkeit war in einigen Versuchen recht gut. Insbesondere ist es hierin dem weicherdigen Rohphosphat überlegen, so daß

Rénophosphat zumindest dort angewandt werden kann, wo dieses Phosphat empfohlen wird (z. B. auf sauren Hochmoorböden). Darüber hinaus kann es auf sauren Mineralböden als Weidedünger in Frage kommen. Auf neutralen Böden wird die Aufnehmbarkeit des Rénophosphates stark herabgesetzt, so daß es für diese Böden ungeeignet ist.

Bei Anwendung höherer Gaben steigt seine Wirkung, ohne daß jedoch damit der Ertrag selbst niedriger Gaben der bekannten Düngermittel immer erreicht wird. Das höherprozentige Phosphat ist dem niedrigprozentigen überlegen. Die Nachwirkung des Rénophosphates und seine eventuelle Eignung zur Anreicherung des Bodens an wurzellöslicher Phosphorsäure bei Anwendung hoher Gaben wäre in Feldversuchen zu prüfen. Im Neubauerversuch konnte die schlechtere Ausnutzung gegenüber derjenigen des Thomasmehles, Rhenaniaphosphates und Superphosphats sowie die bessere gegenüber derjenigen des Rohphosphates bestätigt werden.

2. Basisches Phosphat der Hochofenwerke Lübeck.

Dieses Phosphat ist in der Löslichkeit seiner Phosphorsäure dem Rhenaniaphosphat und dem Thomasmehl gleichwertig. Dieser chemische Befund wird durch den pflanzenphysiologischen Versuch mit Hilfe der Neubaueranalyse bestätigt. In den Gefäßversuchen zeigt es in seiner Ertragsleistung am meisten Ähnlichkeit mit dem Rhenaniaphosphat. In bezug auf eine Verminderung von Säureschäden ist ihm Thomasmehl überlegen. Andererseits wird seine Phosphorsäure jedoch schneller aufgenommen, so daß es zur schnellen Wirkung kommt.

3. Wasag-Phosphat:

Das Wasag-Phosphat ist ein durch Untersäuerung beim Aufschluß und durch Zuschlag von basisch kalkhaltigen Stoffen hergestelltes neutralisiertes Superphosphat.

In seiner Ertragsleistung ähnelt es dem Superphosphat. Auf saurem Boden ist es diesem etwas überlegen.

Die Streufähigkeit des Wasag-Phosphates ist besser als die des Superphosphates, insbesondere gilt das für Mischungen mit Kalisalzen.

4. Kaliglühphosphat nach Messerschmidt:

Das Kaliglühphosphat entspricht gemäß seiner Herstellung in seinen Eigenschaften weitgehend dem bisherigen Rhenaniaphosphat. [298]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: O. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Untersuchungen über Wasagphosphat*).

Von **L. Meyer**, Halle a. S.
Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenbiologie der Martin-Luther-Universität Halle.

Eingegangen: 9. März 1939.

Für die praktische Brauchbarkeit und demgemäß auch für die Bewertung eines Düngesalzes ist es wesentlich zu wissen, inwieweit das Düngemittel beim Lagern in größeren Stapeln oder auch während längerer Zeit in kleineren Mengen unter den natürlichen Witterungseinflüssen Veränderungen unterworfen ist. Das ist ganz besonders bei superphosphatartigen Phosphorsäuredüngern wichtig, umsomehr dann, wenn — wie beim „Wasagphosphat" — als wesentliches Merkmal von der Hersteller-Firma (Westfälisch-Anhaltische Sprengstoff-Fabriken A.-G.) in Anspruch genommen wird, daß in diesem neuartigen Phosphat die Phosphorsäure zu einem Teil in wasser-, zum anderen Teil in zitratlöslicher Form vorliegt.

Mag vielleicht auch eine eventuelle Änderung der Löslichkeit des Phosphates während des Lagerns für die Beurteilung eines solchen neuen Düngemittels im Vordergrund stehen, so sind für die praktische Verwendung solcher Salze rein mechanische Veränderungen ebenfalls nicht bedeutungslos. Da ferner Superphosphat bekanntlich sehr oft mit Kalidüngern vermischt zur Kaliphosphatdüngung verwandt wird, dabei aber je nach der Witterung gewisse Nachteile durch Verschmieren bzw. Zusammenbacken bestehen, mußte auch die Frage der Mischbarkeit mit Kalidüngesalzen in dieser Richtung geprüft werden.

Schließlich ist ja die Ausnutzbarkeit der Düngungsphosphorsäure sehr wesentlich von ihrem Verhalten im Boden abhängig. Deshalb ist die Frage nach der Absorbierbarkeit der PO_4 dieses neuen Phosphates durch verschiedene Böden im Vergleich zu gewöhnlichem Superphosphat ein weiteres, für seine Beurteilung und Bewertung sehr wesentliches Moment.

Innerhalb einer Gemeinschaftsarbeit des Forschungsdienstes wurden diese Fragen einer versuchsmäßigen Prüfung unterzogen, worüber nachfolgend berichtet wird:

1. Mechanische Veränderungen beim Lagern und nach Vermischung mit Kalisalzen.

Bei der Herstellung von Handelsdüngemitteln kommen bekanntlich in großen Siloräumen oft sehr große Mengen zur Ablagerung, wo sie mehr oder weniger lange verbleiben, bis sie zum Versand kommen. Im Superphosphatwerk Coswig stand uns ein Stapelkegel des neuen Wasagphosphates von etwa 6 m Durchmesser und 3 m Höhe zur Beobachtung und Untersuchung zur Verfügung. Es wurden 6 mal in Abständen von 4—6 Wochen, also während einer Zeitdauer von 6 Monaten, Beobachtungen an Ort und Stelle und Probeentnahmen in folgender Weise durchgeführt: Im Stapelkegel wurde jedesmal an einer anderen Stelle ein senkrechter, die ganze Höhe des Stapels erfassender Einschnitt aufgegraben und jeweils 3 Profilproben in Höhen von 0—50, 50—150 und 150—300 cm, d. h. also bis zum Gipfel des Stapels, entnommen. Es handelt sich dabei jeweils um Durchnittsproben

*) Durchgeführt innerhalb einer Gemeinschaftsarbeit des Arbeitskreises II/8 des Forschungsdienstes. Federführender: Prof. Giesecke, Berlin.

der genannten Profilhöhen innerhalb des in den Stapel hineingelegten Einschnittes. Diese Proben wurden jedesmal im Laboratorium des Institutes, wie nachfolgend beschrieben wird, untersucht.

Die Beobachtung des fabrikmäßig aufgesetzten Stapels während 6 Monaten ergab, daß auch in den unteren und tieferen Schichten keinerlei äußerlich feststellbare, mechanische Veränderungen stattgefunden hatten, es sei denn, daß die tieferen Schichten des Stapels dichter gepackt vorlagen als die äußeren. Die Oberfläche des Stapels selbst hatte sich während der Beobachtungszeit nur wenig verfärbt, eine Krustenbildung war nur in geringem Maße festzustellen.

Gleichzeitig wurden im Stapelraum der Fabrik Mischungen von Wasagphosphat bzw. Superphosphat und Kalidüngern hergestellt. Die zur Mischung verwandten Salze und das Mischungsverhältnis sind in der Tabelle 1 angegeben. Von diesen verschiedenen Mischungen wurden kleinere Stapel von etwa 2 m Länge und etwa 1 m Höhe aufgesetzt. Diese Mischungsstapel waren also während der 6 Beobachtungsmonate der freien Luft, natürlich aber unter Dach, ausgesetzt. Die Beobachtungen der mechanischen Veränderung dieser Stapel im Verlauf von 6 Monaten sind ebenfalls in der Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1.

Mischungen von:	Mischungsverhältnis	Beobachtungen
Wasag u. 40%-K-Salz	1 : 1	ganz trocken, nicht zusammenbackend
Wasag u. 40%-K-Salz	1 : 3	etwas klamm, nicht klebrig
Superph. u. 40%-K-Salz	1 : 3	feucht, schmierig
Wasag und Kainit	1 : 1	trocken und krümelig
Wasag und Kainit	1 : 3	außen feucht, innen trocken
Superph. u. Kainit	1 : 3	bis in die Tiefe feucht und schmierig

Um die Veränderungen von Mischungen des Wasagphosphats mit Kalidüngern im Vergleich zu gleichartigen Mischungen mit gewöhnlichem Superphosphat unter dem Einfluß extremer Witterungseinflüsse zu prüfen, wurden Laboratoriumsversuche durchgeführt.

Die beiden Vergleichsphosphate wurden sowohl mit Kalisalz wie auch mit Kainit im Verhältnis 1 : 3 gemischt, mehrere Male längere Zeit in Wasserdampf gesättigte Luft von 30° C gebracht und dann wieder getrocknet. Diese laboratoriumsmäßigen Prüfungen des Einflusses extremer Luftfeuchtigkeitsschwankungen auf die Kali-Phosphat-Mischungen ergaben volle Übereinstimmung mit den Beobachtungen an den größeren Mischungsstapeln im Lagerraum der Fabrik.

Ergebnis: Superphosphat-Kali-Mischungen waren in Wasserdampf gesättigter Luft immer sehr feucht und außerordentlich schmierig, abgetrocknet bildeten sie steife Krusten. Ganz besonders war das der Fall, wenn Kainit beigemischt worden war. Wasagphosphat-Kali-Mischungen fühlten sich auch nach Behandlung mit Wasserdampf gesättigter Luft bei weitem nicht so feucht und schmierig an und backten auch nach dem Trocknen nicht annähernd so stark wie Superphosphat zusammen.

Hygroskopizitätsbestimmungen wurden nicht durchgeführt; aber schon bei einfachen Wasserbestimmungen kam der Unterschied deutlich zum Ausdruck (Tab. 2).

Tabelle 2.

Mischung	Mischungsverhältnis	Wassergehalt von Phosphat/Kalisalzmischungen nach 2 × 4 stündiger Behandlung mit H_2O-gesättigter Luft
Wasag/Kalisalz 40%	1 : 3	12,25%
Superphosphat/K.40%	1 : 3	14,25%
Wasag/Kainit	1 : 3	9,0%
Superphosph./Kainit	1 : 3	10,0%

Veränderungen der Phosphorsäurelöslichkeit während des Lagerns.

Tabelle 3.

P_2O_5 in Prozent der Trockensubstanz.

Profilhöhe im Stapel	Reihenfolge und Datum der laufenden Probeentnahmen					
	I 8. 4.	II 11. 5.	III 5. 7.	IV 19. 7.	V 7. 8.	VI 8. 10.
Gesamt-P_2O_5						
I. 0—50 cm	20,13	20,55	20,49	21,12	20,71	20,34
II. 50—150 cm	20,45	20,71	20,24	20,47	21,09	20,45
III. 150—300 cm	20,59	20,74	20,47	20,91	20,78	20,26
Durchschnittsgehalt des Stapels	20,39	20,66	20,40	20,83	20,86	20,35
Zitratlösliche P_2O_5						
I. 0—50 cm	19,05	18,60	18,60	17,73	18,05	17,17
II. 50—150 cm	18,55	18,58	18,66	17,15	17,90	17,42
III. 150—300 cm	19,25	18,83	18,63	17,85	17,69	17,28
Durchschnittsgehalt des Stapels	18,95	18,67	18,63	17,58	17,88	17,29
Wasserlösliche P_2O_5						
I. 0—50 cm	16,67	16,45	16,15	15,98	15,78	15,13
II. 50—150 cm	16,43	16,61	15,50	15,56	15,58	15,16
III. 150—300 cm	17,11	16,82	16,84	16,29	16,20	15,23
Durchschnittsgehalt des Stapels	16,74	16,63	16,16	15,94	15,85	15,17

Nach den Angaben der Hersteller soll das Wasagphosphat etwa 17% wasserlösliche und zwischen 18 und 19% zitratlösliche Phosphorsäure enthalten (bezogen auf Trockensubstanz). Es galt zu prüfen, inwieweit diese verschiedenen Löslichkeitsformen der Phosphorsäure in dem neuen Düngemittel sich während einer Lagerung über längere Zeit hin verändern. Zu diesem Zwecke wurden die in vorstehend dargestellter Art und Weise entnommenen Profilproben des Fabrikstapels über die Zeit von 6 Monaten auf Gesamtphosphorsäure, zitratlösliche und wasserlösliche Phosphorsäure untersucht. In der Tabelle 3 sind die Analysenergebnisse in gesicherten Mitteln dreier Paralleluntersuchungen zusammengestellt.

Die chemischen Untersuchungen der Profilproben ergaben (vgl. Tab. 3):

a) Die uns bzw. dem Forschungsdienst mitgeteilten Angaben der Herstellerfirma stimmten im Vergleich zu den von uns ermittelten ziemlich gut überein, wie aus nachfolgender Gegenüberstellung hervorgeht:

	Angaben des Herstellers		Unsere Untersuchungen, Mittel von 6 Probeentnahmen im Verlauf von 6 Monaten
	P_2O_5 in % der Trockensubstanz		
Gesamt-P_2O_5	19,35	20,00	20,58
Wasserlösl. P_2O_5	17,10	17,30	16,08
Zitratlösliche P_2O_5	18,63	19,07	18,17
% H_2O	7,50	5,80	9,03

b) Innerhalb des ganzen Stapels bestand vollkommene Gleichmäßigkeit und Gleichartigkeit im Phosphorsäuregehalt der Substanz.

c) Während der 6-monatigen Lagerzeit hat die Löslichkeit der Phosphorsäure deutlich, aber praktisch in bedeutungsloser Weise abgenommen, nämlich um etwa $1\frac{1}{2}$%, wobei aber auch nach 6 Monaten das Verhältnis von wasserlöslicher und zitratlöslicher Phosphorsäure dasselbe geblieben ist.

Für die Zugänglichkeit der Phosphorsäure zur Pflanze ist die Geschwindigkeit, mit der die Phosphorsäure in Lösung geht, von erheblicher Bedeutung. Bei Kalkphosphaten ist dies bekanntlich von der Natur des Lösungsmittels (Reaktion) abhängig, insbesondere vom größeren oder kleineren Kohlensäuregehalt desselben. Um auch über diese Frage analytische Unterlagen für das Wasagphosphat im Vergleich zu normalem Superphosphat zu gewinnen, wurden Erschöpfungsextraktionen in CO_2-freiem und CO_2-haltigem Wasser durchgeführt, wobei ein Verhältnis von Substanz zu Extraktionsmittel wie 1:10 zu Grunde gelegt wurde. 2 Mischproben des ganzen Fabrikstapelprofils zu Anfang und am Ende der Beobachtungszeit wurden mit 2 Superphos-

phatproben verglichen. In der Tabelle 4 sind die Mittelzahlen dieser Mischproben zusammengestellt und gleichartigen Erschöpfungsextraktionen des normalen Superphosphats gegenübergestellt.

Tabelle 4.
g P_2O_5 je 100 g Substanz.

Ausschüttelung	mit CO_2-freiem Wasser	mit CO_2-haltigem Wasser
	Wasagphosphat	
1.	13,20	13,20
2.	1,22	1,18
3.	0,25	0,34
4.	0,13	0,32
5.	0,11	0,32
Summe:	14,91	15,36
	Superphosphat	
1.	17,68	17,36
2.	1,16	1,17
3.	0,13	0,12
4.	0,05	0,04
5.	0,03	0,03
Summe:	19,05	18,72

Der Extraktionsversuch ergab (vergl. Tabelle 4) folgendes:

a) Sowohl in CO_2-freiem wie auch in CO_2-haltigem Wasser ist, wie zu erwarten war, der sofort zugängliche Anteil der wasserlöslichen Phosphorsäure (P_2O_5-Menge im ersten Extrakt) beim gewöhnlichen Superphosphat deutlich höher als beim Wasagphosphat, etwa 17,5 gegenüber 13,2 g.

b) Superphosphat ist praktisch schon nach der zweiten Extraktion an Phosphorsäure erschöpft. Beim Wasagphosphat ist dies nur bei CO_2-freiem Wasser als Extraktionsmittel der Fall. An CO_2-haltiges Wasser gibt dagegen Wasagphosphat auch bei einer 3., 4. und 5. Extraktion laufend gewisse, wenn auch gegenüber dem ersten Extrakt geringe Phosphorsäuremengen ab, während Superphosphat das nicht tut. Es kommt hier zweifelsohne das andersartige Verhalten des zitratlöslichen Phosphorsäureanteiles in Wasag-Phosphat gegenüber dem nur wasserlöslichen in gewöhnlichem Superphosphat zum Ausdruck. Diese Feststellung läßt die Vermutung zu, daß das Wasagphosphat dank eines wenn auch geringen Anteiles an zitratlöslicher Phosphorsäure eine länger anhaltende PO_4-Nachlieferung erwarten läßt. Ob diese Unterschiede in der Lösungs- bzw. Nachlieferungsgeschwindigkeit bei einer praktischen Anwendung dieses Düngemittels unter den verschiedenen Boden-

bedingungen und bei den verschiedenen Kulturpflanzen mit stärkerem oder schwächerem Aufschließungsvermögen (CO_2-Einfluß der Rhizosphäre) zur Auswirkung kommt, darüber können naturgemäß nur Pflanzenversuche Auskunft geben.

3. Untersuchungen über die „Wurzellöslichkeit“ des Wasagphosphats im Vergleich zum normalen Superphosphat nach Beimischung zu verschiedenen Böden.

Wie bekannt, wird die Superphosphatphosphorsäure in den Böden je nach deren Natur und nach ihrem P_2O_5-Vorrat stärker oder schwächer festgelegt. Dies kann nur durch Gefäßversuche, besser noch durch Feldversuche nachgewiesen werden; aber auch die Keimpflanzenmethode pflegt hierüber gute Anhaltspunkte zu geben. Es wurden deshalb Keimpflanzenversuche mit 4 Böden angesetzt und zwar einmal 2 Böden, von denen durch frühere Versuche bekannt war, daß sie eine sehr geringe Sorptionsfähigkeit für Phosphorsäure hatten, und mit 2 anderen Böden mit sehr starker Sorptionsfähigkeit für diesen Nährstoff. Diese 4 Böden wurden mit steigenden Phosphatmengen und zwar 2, 4 und 6 mg P_2O_5 je 100 g Trockenboden versehen und einmal die Phosphorsäure als Normal-Superphosphat, das andere Mal als Wasagphosphat verabfolgt. Ein solcher Keimpflanzenversuch wurde unmittelbar nach der Düngung angesetzt; bei einem zweiten Versuch erfolgte der Ansatz erst 6 Monate nach der Phosphatzugabe. Gerade der zweite Keimpflanzenversuch sollte zeigen, inwieweit eine Festlegung der wurzellöslichen Phosphorsäure während dieser längeren Zeit im Boden erfolgt war. Beim zweiten Keimpflanzenversuch wurden nur 3 Phosphorsäurestaffeln angewandt, nämlich 0 mg und 2 × 2 mg P_2O_5, wobei die 2 × 2 mg P_2O_5 bei der dritten Staffel so zu verstehen sind, daß 2 mg schon 6 Monate vor dem Ansatz des Keimpflanzenversuches gegeben worden waren, die 2 weiteren mg dagegen erst zwei Tage vorher. Anordnung und Ergebnis des ersten Keimpflanzenversuches (Phosphatzugabe unmittelbar vor Ansatz) geht aus Tabelle 5 hervor.

Tabelle 5.

Wurzellösliche P_2O_5 nach Neubauer bei einer Düngung von 4 verschiedenen Böden mit steigenden Mengen von Super- bzw. Wasagphosphat unmittelbar vor Ansatz.

Böden	P_2O_5 in mg je 100 g Trockenboden — P_2O_5-Düngung je Gefäß mit: 0 mg	2 mg Superphosphat	2 mg Wasagphosphat	4 mg Superphosphat	4 mg Wasagphosphat	6 mg Superphosphat	6 mg Wasagphosphat
a) Absorptionsschwache Böden Nr. I.	8,0	9,4	9,9	11,3	11,4	—	—
Nr. II.	7,4	6,7	6,3	10,3	8,8	—	—
b) Absorptionsstarke Böden Nr. III.	8,5	11,5	—	11,7	11,2	11,1	11,4
Nr. IV.	1,1	1,8	1,2	2,7	1,2	2,3	2,8

Anordnung und Ergebnis des zweiten Keimpflanzenversuches nach Neubauer, bei dem die Superphosphat- bzw. Wasagphosphatdüngung 6 Monate vor dem Ansatz verabfolgt wurde, und wobei 3 verschiedene Böden zur Anwendung kamen, sind in Tabelle 6 enthalten.

Aus den Keimpflanzenversuchen nach Neubauer kann folgendes Ergebnis abgeleitet werden:

Tabelle 6.

Wurzellösliche P_2O_5 in mg 6 Monate nach P_2O_5-Düngung.

Boden	Düngung je Gefäß mit:				
	0 mg	4 mg		2 + 2 mg	
		Superphosphat	Wasagphosphat	Superphosphat	Wasagphosphat
A	4,4	3,0	5,9	7,8	8,1
B	9,6	8,2	12,7	12,6	12,5
C	0	0	1,2	1,8	0,5

a) Der erste Versuch, bei dem die beiden Vergleichsphosphate in steigenden Mengen unmittelbar vor Ansatz beigemischt wurden, zeigte für beide Phosphate ein weitgehend gleichartiges Verhalten. Kleine Unterschiede im Phosphorsäure-Entzug bei den beiden Phosphaten liegen nicht wesentlich über 1 mg, bewegen sich also innerhalb der methodischen Streubreite der Neubauer-Methode. Beim absorptionsschwächsten Boden (I) wurden die verschiedenen P_2O_5-Gaben in beiden Phosphorsäureformen zu rund 75—80% von den Keimpflanzen ausgenutzt; bei Boden IV mit dem größten Festlegungsvermögen für Phosphorsäure waren die Keimpflanzen auch bei der größten Zugabe von 6 mg je 100 g Trockenboden bei beiden Phosphaten nicht in der Lage, mehr als 1,2 bzw. 1,7 mg Düngungsphosphorsäure aufzunehmen.

b) Der zweite Keimpflanzenversuch, der in Tabelle 6 dargestellt ist, bei welchem der Ansatz 6 Monate nach der Düngung erfolgte, bestätigt die bekannte Tatsache einer starken Festlegung leichtlöslicher Phosphorsäure durch den Boden. Aus den Zahlen geht hervor, daß anscheinend die 4 mg P_2O_5 in Form von gewöhnlichem Superphosphat stärker festgelegt worden sind als in der Form des Wasagphosphates. Wurde diese Gabe von 4 mg geteilt, und zwar so, daß 2 mg 6 Monate und 2 mg unmittelbar vor dem Ansatz verabfolgt wurden, dann kam die Wirkung der Düngungsphosphorsäure bei den beiden ersten, schon an sich mit einem gewissen P_2O_5-Vorrat versehenen Versuchsböden A und B deutlich und bei beiden Phosphaten in analoger Weise zum Ausdruck.

Zusammenfassung:

Bei einer Prüfung des neuartigen Superphosphates „Wasagphosphat" der Westfälisch-Anhaltischen Sprengstoffabriken A. G., hergestellt im Werk Coswig, wurden folgende Eigenschaften geprüft und ergaben nachfolgende Ergebnisse:

1. Mechanische und chemische Veränderbarkeit beim Lagern:

Fabrikmäßig aufgesetzte, größere Stapel von Wasagphosphat zeigten während 6-monatiger Beobachtungszeit auch in tieferen

und unteren Schichten keinerlei mechanische Änderungen; die Oberfläche hat sich kaum verfärbt und zeigte nur schwache Krustenbildung.

Chemische Untersuchungen der Stapelschichten ergaben vollkommene Gleichmäßigkeit und Gleichartigkeit des P_2O_5-Gehaltes. Bei 6 Probeentnahmen stimmten Gehalt an H_2O-löslicher, zitratlöslicher und Gesamt-P_2O_5 ziemlich genau mit den von der Fabrik dem Forschungsdienst gemachten Angaben überein.

Während 6-monatiger Lagerzeit hat der Anteil an löslicher P_2O_5 deutlich, aber praktisch in bedeutungsloser Weise abgenommen, nämlich von 18,95% auf 17,29%, wobei das Verhältnis von zitrat- zu wasserlöslicher Phosphorsäure das gleiche geblieben war.

2. Mechanische Veränderbarkeit nach Beimischung von 40%igem Kalisalz und Kainit:

Mischungen von Wasag-Phosphat und Superphosphat mit Kalisalz und Kainit im Verhältnis 1 : 1 und 1 : 3 in größeren fabrikmäßigen Stapeln ergaben eine deutliche Überlegenheit des Wasagphosphates gegenüber dem Superphosphat in bezug auf Schmierigkeit, Krustenbildung, Zusammenbacken usw.

Analoge Untersuchungen im Laboratorium unter künstlich erzeugtem „Klimaeinfluß“ (Wechsel zwischen H_2O-Dampf gesättigter Luft und Trockenheit) ergaben identische Ergebnisse. Vor allem zeigte Superphosphat eine stärkere H_2O-Anziehungsfähigkeit als Wasagphosphat, was durch H_2O-Gehaltsbestimmungen nachweisbar war.

3. Chemische und Wurzellöslichkeit des Wasag-Phosphates im Vergleich zu Superphosphat:

Das Verfahren fortgesetzter Extraktionen mit CO_2-freiem und CO_2-haltigem Wasser ergab für gewöhnliches Superphosphat eine sofortige Erschöpfung an P_2O_5. Wasag-Phosphat gibt dagegen an CO_2-gesättigtes Wasser auch an einen 3., 4. und 5. Extrakt noch fortlaufend weitere kleine Mengen an P_2O_5 ab. Es ist also außer einer dem Superphosphat entsprechenden sofortigen Zugänglichkeit der Phosphorsäure noch eine länger anhaltende P_2O_5-Nachlieferung zu erwarten, die das gewöhnliche Superphosphat an sich nicht hat.

Die P_2O_5-Festlegung durch verschiedene Bodenarten wurde nach der Neubauer-Methode geprüft. Es konnte sechs Monate nach der Phosphatbeimengung zu den Böden festgestellt werden, daß den Keimpflanzen gegenüber die Wasag-P_2O_5 nicht stärker vom Boden festgelegt wurde als die Superphosphat-P_2O_5, sondern anscheinend leichter löslich geblieben war. [290]

Gefäßversuche zur Bewertung einiger neuer Phosphorsäuredünger — des Wasag-Phosphates und des M-Phosphates (Lübeck-Phosphat)*).

Von **F. Nieschlag** und **C. Windorf.**

Aus dem Landw. Untersuchungsamt und der Landw. Forschungsanstalt der Landesbauernschaft Weser-Ems, Oldenburg i. O.

Eingegangen: 24. Mai 1939.

Von den in den Jahren 1937 und 1938 in Gefäßversuchen geprüften neuen Phosphorsäuredüngemitteln konnte die Prüfung des Wasag-Phosphates und des M-Phosphates (Lübeck-Phosphat) zu einem gewissen Abschluß gebracht werden, nachdem jedes Düngemittel auf 4 verschiedenen Bodenarten in Vergleich zu den bekannten handelsüblichen Phosphaten gestanden hatte.

Die verwendeten Düngemittel wurden vor Beginn eines jeden Versuchs eingehend untersucht.

Düngemitteluntersuchung 1937.

Düngemittel	Gesamt-P_2O_5	Wasserlösliche P_2O_5	Zitronensäurelösliche P_2O_5	Ammonzitratlösliche P_2O_5
Superphosphat . . .	19,84	18,44	—	—
Wasagphosphat . . .	19,93	16,07	15,29	18,42
Lübeckphosphat . . .	23,61	0,06	21,74	—
Thomasphosphat . .	16,41	—	15,29	—
Dikalziumphosphat . .	40,38	—	—	—

Düngemitteluntersuchung 1938.

Düngemittel	Gesamt-P_2O_5	Wasserlösliche P_2O_5	Zitronensäurelösl. P_2O_5	Ammonzitratlösl. P_2O_5	MgO	CaO	SiO_2
Superphosphat . .	18,63	17,89	18,30	17,96	0,27	30,57	0,60
Wasagphosphat. .	19,79	14,14	18,55	18,73	0	32,68	2,30
Lübeckphosphat. .	21,54	0	18,83	17,99	0,07	30,59	3,30
Thomasphosphat .	19,21	0	17,63	8,53	2,91	44,30	9,84
Rhenaniaphosphat .	29,67	0	29,07	27,98	0,63	38,75	9,28
Dikalziumphosphat	41,88	0,29	41,86	40,20	—	—	—

Außerdem wurden noch zwei weitere Untersuchungen über das Wasag-Phosphat angefertigt.

Düngemittel	Gesamt-P_2O_5	Wasserlösliche P_2O_5	Zitronensäurelösliche P_2O_5	Ammonzitratlösliche P_2O_5	MgO	CaO	SiO_2	Basische Bestandteile
Wasagphosphat	19,55	14,36	17,92	18,08	0,29	30,82	2,06	sauer
Wasagphosphat	19,50	13,86	18,14	19,35	0,40	30,63	2,28	sauer

*) Aus dem Arbeitskreis II/8 des Forschungsdienstes: Sonderfragen der Phosphorsäureernährung und -düngung. Federführender: Prof. Dr. Giesecke, Berlin-Dahlem.

Das Wasag-Phosphat zeichnet sich durch einen hohen Anteil an wasserlöslicher Phosphorsäure aus. Die Löslichkeit in 2%iger Zitronensäure wie in der Petermannschen Ammonzitratlösung ist sehr gut. Das Düngemittel enthält keine basisch wirksamen Bestandteile und reagiert in wäßriger Lösung sauer. Bei der Anstellung des Feldversuches zeigte es sich, daß das Düngemittel sehr gut streufähig ist.

Das Lübeck-Phosphat ist ein basisches Düngemittel. Der größte Teil des Kalkes liegt in basisch wirksamer Form vor. In Wasser ist die Phosphorsäure praktisch unlöslich, in 2%iger Zitronensäure ist sie dagegen zum größten Teil löslich. Die Löslichkeit in Petermannscher-Ammonzitratlösung ist ebenfalls recht gut.

Nach der chemischen Untersuchung steht demnach das Wasag-Phosphat dem Superphosphat nahe, während das Lübeck-Phosphat mehr einem Kalkphosphat entspricht.

Zur Durchführung des Versuches sei kurz noch folgendes bemerkt:

Die Versuche wurden in Mitscherlich-Gefäßen angesetzt und zwar in beiden Jahren ungefähr nach dem gleichen Versuchsplan. Im Jahre 1937 wurden die neuen Phosphate verglichen mit Superphosphat, Thomasphosphat und Dikalziumphosphat, im Jahre 1938 wurde außerdem noch das Rhenaniaphosphat in den Vergleich hereingenommen. Als Ausgleich für diese Erweiterung konnte beim Thomasphosphat und Rhenaniaphosphat der Vergleich nur über 2 Düngungsstufen geführt werden, während sonst der Vergleich in 3 Düngungsstufen und zwar mit 0,3, mit 0,6 und mit 0,9 g Gesamt-P_2O_5 je Gefäß erfolgen konnte.

Für die Versuche benutzten wir folgende Böden:

1937, GVR 153. 1. Einen leichten, humusarmen, schlecht gepufferten Sandboden aus Helmighausen 7,5 kg je Gefäß. Analyse: 7,0 pH, hydrolytische Azidität y_1 = 12,4 ccm; Austauschazidität 0 ccm. Im HCl-Auszug: 0,105% CaO; 0,07% MgO; 0,017% P_2O_5; 0,126% K_2O. In 1%iger Zitronensäurelösung: 0,006% P_2O_5.

Aus sonstigen Feld- und Gefäßversuchen war uns die Kalkbedürftigkeit des Bodens bekannt. Aus diesem Grunde ist je Gefäß eine Kalkgabe von 10 g $CaCO_3$ gegeben worden, obgleich eine Versäuerung des Bodens nicht vorlag. Der in diesem Boden sonst beobachtete starke Magnesiamangel wirft die Vermutung auf, ob nicht der Kalkbedarf mit der Magnesiaversorgung der Pflanzen in ursächlichem Zusammenhang steht.

1937, GVR 154. 2. Ein stark entkalkter Marschboden aus Einswarden, 6 kg Boden je Gefäß. Analyse: pH 4,8, hydrolytische Azidität y_1 = 18,8 ccm; Austauschazidität y_1 = 4,15 ccm. Im HCl-Auszug: 0,550% CaO; 0,189% P_2O_5; 0,279% K_2O. In 1%iger Zitronensäurelösung: 0,014% P_2O_5. Der Versuchsboden war uns als sehr phosphorsäurebedürftig bekannt.

1938, GVR 162. 1. Ein humoser bis rohhumoser Lehmboden aus Ipwege, 7,5 kg Boden je Gefäß. Bodenanalyse: pH 4,8; Austauschazidität y_1 = 10,1 ccm; hydrolytische Azidität y_1 = 12,1 ccm. Im HCl-Auszug: 0,125% CaO; 0,034% P_2O_5; 0,280% K_2O; Humus 8,75%; N = 0,22%; 4,5 mg P_2O_5 nach Neubauer, 22,2 mg K_2O nach Neubauer.

GVR 161. 2. Ein humusarmer Sandboden, ähnlich wie unter 1937 bei 1 angegeben, aus Augustenfeld bei Löningen. Bodenanalyse: pH 5,3; Austauschazidität $y_1 = 0,7$ ccm; hydrol. Azidität $y_1 = 5,0$ ccm. Im HCl-Auszug: 0,11% CaO; 0,013% P_2O_5; 0,054% K_2O; 0,038% MgO; Humus 0,66%; N = 0,03%; 2,4 mg P_2O_5 nach Neubauer, 7,7 mg K_2O nach Neubauer.

Die Düngung im einzelnen ist aus dem Kopf der Tabellen zu ersehen, so daß hier nicht darauf eingegangen zu werden braucht.

Die Gefäßversuche sind auf einen Vergleich der Gesamt-Phosphorsäure in allen Phosphaten abgestellt worden. Zum Vergleich der Löslichkeitsverhältnisse der Phosphate wird folgende Übersicht beigefügt:

	Lösliche P_2O_5 in % Gesamt-P_2O_5											
	Super-phosphat		Thomas-phosphat		Wasag-phosphat		Lübeck-phosphat		Rhenania-phosphat		Dikalzium-phosphat	
	37	38	37	38	37	38	37	38	37	38	37	38
Wasserlösliche P_2O_5	92,9	95,9	0	0	80,6	71,5	0	0	—	0	—	0,7
Zitronensäurelösliche P_2O_5 .	—	98,1	93,2	91,8	76,7	93,7	92,0	81,4	—	98,0	—	100,0
Ammonzitratlösliche P_2O_5	—	96,3	—	44,4	92,4	94,6	—	83,5	—	94,3	—	96,0

Über den Verlauf der Versuche ist kurz folgendes zu berichten: Der Hafer entwickelte sich sowohl auf dem Marschboden wie auf dem Lehmboden sehr viel üppiger als auf dem leichten Sandboden. Die Erträge liegen beim Marschboden deshalb auch erheblich höher als beim Sandboden. Die auf dem Lehmboden gezogenen Haferpflanzen blieben von der Zeit des Schossens an zurück, wohl, weil der Boden sehr zur Verschlämmung neigte.

Alle 4 verwendeten Böden erwiesen sich als sehr phosphorsäurebedürftig. Auf den beiden Sandböden und auf dem Lehmboden war der Hafer bei der phosphorsäurefreien Düngung völlig verkümmert. Der Phosphorsäuremangel machte sich schon wenige Wochen nach dem Aufgang bemerkbar. In derselben Zeit war in beiden Jahren die Superphosphatreihe am weitesten in der Entwicklung vorgeschritten. Im 2. Berichtsjahre wurde die Superphosphatreihe in der Wachstumsfreudigkeit annähernd von der Wasag-Phosphat- und Rhenaniaphosphat-Reihe erreicht. Alle anderen Düngemittel folgten erst im weiten Abstande.

Der Phosphorsäuremangel machte sich anfänglich auch bei der Düngung mit Thomasphosphat bemerkbar. Erst zur Zeit des Schossens holten diese Reihen auf, so daß während der Reifezeit die Unterschiede nur gering waren. Die Lübeck-Phosphat- und Dikalziumphosphatreihen wiesen einen Phosphorsäuremangel nicht auf, soweit das am Wuchs und an der Farbe des Blattes zu erkennen war. Die Reihen blieben aber deutlich im Wachstum zurück. Es wird angenommen, daß beim Dikalziumphosphat sich

der Mg-Mangel des Sand-Bodens störend bemerkbar machte, während beim Lübeck-Phosphat vielleicht auch andere Einflüsse, die z. B. im hohen Schwefelgehalt des Phosphates liegen können, mitgesprochen haben mögen.

Tabelle 1.

Gefäßversuch 153/1937.
Versuchsfrucht: Hafer.
Einsaat: 22. April 1937. Ernte: 29. Juli 1937.
Grunddüngung je Gefäß (Mitscherlich-Gefäß):
0,9 g N als Ammonnitrat
1,5 g K_2O als Kaliumsulfat
10 g $CaCO_3$
} verabreicht bei der Einsaat.
Versuchsergebnis:

Differenz-Düngung	Mittel-Erträge		Mehrerträge Trockensbst.		P_2O_5-Aufnahmen		Insgesamt	Ausnutzung der P_2O_5-Düngung
	Stroh g	Korn g	Stroh g	Korn g	Stroh mg	Korn mg	mg	%
1. Ohne P_2O_5 . . .	14,2	2,0	—	—	12,8	8,7	21,5	—
Als Superphosphat								
2. 0,3 g P_2O_5 . . .	50,6	27,4	+36,4	+25,4	28,3	118,4	146,7	41,7
3. 0,6 g P_2O_5 . . .	51,2	30,7	+37,0	+28,7	36,4	187,6	224,0	33,7
4. 0,9 g P_2O_5 . . .	50,3	31,1	+36,1	+29,1	30,2	227,7	257,9	26,3
Als Thomasphosphat								
5. 0,3 g P_2O_5 . . .	48,9	27,6	+34,7	+25,6	20,0	119,0	139,0	39,2
6. 0,6 g P_2O_5 . . .	50,9	30,4	+36,7	+28,4	25,5	192,1	217,6	32,7
7. 0,9 g P_2O_5 . . .	56,2	28,6	+42,0	+26,6	43,8	233,7	277,5	28,4
Als Wasagphosphat								
8. 0,3 g P_2O_5 . . .	50,3	23,0	+36,1	+21,0	26,7	102,8	129,5	36,0
9. 0,6 g P_2O_5 . . .	50,1	26,3	+35,9	+24,3	29,0	178,3	207,3	31,0
10. 0,9 g P_2O_5 . . .	52,2	31,9	+38,0	+29,9	34,5	240,8	274,7	28,1
Als Dikalziumphosphat								
11. 0,3 g P_2O_5 . . .	47,2	24,0	+33,0	+22,0	25,5	104,2	129,7	36,1
12. 0,6 g P_2O_5 . . .	57,8	26,7	+43,6	+24,7	44,5	202,9	247,4	37,7
13. 0,9 g P_2O_5 . . .	61,1	32,2	+46,9	+30,2	48,3	293,3	341,6	35,6
Als Lübeckphosphat								
14. 0,3 g P_2O_5 . . .	47,3	19,5	+33,1	+17,5	26,0	80,5	106,5	28,3
15. 0,6 g P_2O_5 . . .	50,2	28,1	+36,0	+26,1	26,6	173,1	199,7	29,7
16. 0,9 g P_2O_5 . . .	58,0	29,1	+43,8	+27,1	36,5	216,5	253,0	25,7

In seiner Wirkung kommt das Lübeck-Phosphat nicht ganz an die Wirkung des Superphosphates und der sonstigen Phosphate heran, besonders wenn man die geringsten Düngergaben in Vergleich setzt. Die Unterschiede kommen noch stärker in der Ausnutzung der Phosphorsäure zum Ausdruck. Es entspricht die Wirkung des Lübeck-Phosphates etwa dem Thomasphosphat, wenn man von der Zitronensäurelöslichkeit des Lübeck-Phosphates ausgeht. Die Wirkung des Wasag-Phosphates ist etwas geringer als die des Thomasphosphates und des Superphosphates.

Auf den sehr phosphorsäurebedürftigen Marschböden ist das Superphosphat den sonstigen Düngemitteln überlegen gewesen,

Tabelle 2.

Gefäßversuch 154/1937.
Versuchsfrucht: Hafer.
Einsaat: 29. April 1937. Ernte: 7. August 1937.
Grunddüngung je Mitscherlich-Gefäß:
1,0 g N als Ammonnitrat
1,5 g K_2O als Kaliumsulfat
10 g $CaCO_3$
} verabreicht bei der Einsaat.
Versuchsergebnis:

Differenz-Düngung	Mittel-Erträge		Mehrerträge Trockensbst.		P_2O_5-Aufnahmen		Insgesamt	Ausnutzung der P_2O_5-Düngung
	Stroh g	Korn g	Stroh g	Korn g	Stroh mg	Korn mg	mg	%
1. Ohne P_2O_5 . . .	52,2	34,2	—	—	69,9	296,5	366,4	—
Als Superphosphat								
2. 0,3 g P_2O_5 . . .	61,1	46,8	+ 8,9	+12,6	55,0	395,0	450,0	27,9
3. 0,6 g P_2O_5 . . .	66,2	52,2	+14,0	+18,0	68,8	426,1	534,9	28,1
4. 0,9 g P_2O_5 . . .	75,6	53,1	+ 23,4	+18,9	80,9	483,7	564,6	22,0
Als Thomasphosphat								
5. 0,3 g P_2O_5 . . .	53,7	33,6	+ 1,5	− 0,6	104,7	319,2	423,9	19,2
6. 0,6 g P_2O_5 . . .	64,9	47,4	+12,7	+13,2	79,8	430,4	510,2	24,0
7. 0,9 g P_2O_5 . . .	71,3	53,7	+18,8	+19,5	70,3	509,1	579,4	23,7
Als Wasagphosphat								
8. 0,3 g P_2O_5 . . .	57,5	44,8	+ 5,3	+10,6	93,7	337,4	431,1	21,6
9. 0,6 g P_2O_5 . . .	63,2	49,7	+11,0	+15,5	74,0	454,5	528,5	27,0
10. 0,9 g P_2O_5 . . .	66,3	48,6	+14,5	+14,6	94,2	450,7	544,9	19,8
Als Dikalziumphosphat								
11. 0,3 g P_2O_5 . . .	55,8	34,5	+ 3,6	+ 0,3	110,9	292,9	403,8	12,5
12. 0,6 g P_2O_5 . . .	60,2	46,0	+ 8,0	+11,8	77,7	448,4	526,1	26,6
13. 0,9 g P_2O_5 . . .	64,1	44,4	+11,9	+10,2	78,4	477,9	556,3	21,1
Als Lübeckphosphat								
14. 0,3 g P_2O_5 . . .	57,2	40,9	+ 5,0	+ 6,7	69,8	379,6	449,4	27,7
15. 0,6 g P_2O_5 . . .	58,7	43,0	+ 6,5	+ 8,8	83,4	390,9	474,3	18,0
16. 0,9 g P_2O_5 . . .	61,3	44,5	+ 9,1	+10,3	101,8	432,5	534,3	18,7

besonders in der 1. Düngungsstufe, in der die übrigen Phosphate vom Boden offenbar stark absorbiert wurden. Das Wasag-Phosphat steht in der Gesamtwirkung dem Thomasphosphat und Superphosphat etwas nach, ist in der Ausnutzung der Düngerphosphorsäure dagegen etwas günstiger zu beurteilen. Das Lübeck-Phosphat hat eine nur mäßige Ertragssteigerung bewirkt, die Ausnutzung der Phosphorsäure war etwas günstiger als beim Sandboden. Wegen dieser besseren Ausnutzung der Düngerphosphorsäure ist anzunehmen, daß die Ertragshöhe von Umständen bestimmt worden ist, die mit der Phosphorsäureversorgung direkt nicht zusammenhängen.

Auf dem leichten Sandboden ist ebenso wie bei GVR 153/37 ganz allgemein eine recht gute Ausnutzung der Düngerphosphorsäure festzustellen. Abgesehen vom Lübeck-Phosphat und Thomasphosphat, die etwas schlechter ausgenutzt werden, ist die Verwertung der Düngerphosphorsäure sonst gleichmäßig gut. Das

Tabelle 3.

Gefäßversuch 161/1938.
Versuchsfrucht: Hafer.
Einsaat: 25. April 1938. Ernte: 2. August 1938.
Grunddüngung je Mitscherlich-Gefäß: 0,9 g N als Ammoniumnitrat
1,5 g K_2O als Kaliumsulfat
10 g $CaCO_3$.
Versuchsergebnis:

Differenz-Düngung	Mittel-Erträge		Mehrerträge Trockensbst.		P_2O_5-Aufnahmen		Insgesamt	Ausnutzung der P_2O_5-Düngung
	Stroh g	Korn g	Stroh g	Korn g	Stroh mg	Korn mg	mg	%
1. Ohne P_2O_5 . . .	5,6	0,7	—	—	7	4	11	—
Als Superphosphat								
2. 0,3 g P_2O_5 . . .	33,3	18,8	+27,7	+18,1	37	86	123	37,3
3. 0,6 g P_2O_5 . . .	38,4	20,7	+32,8	+20,0	64	149	213	33,7
4. 0,9 g P_2O_5 . . .	40,7	24,0	+35,1	+23,3	92	179	271	28,9
Als Thomasphosphat								
5. 0,3 g P_2O_5 . . .	28,8	15,5	+23,2	+14,8	31	77	108	32,3
6. 0,6 g P_2O_5 . . .	33,1	19,5	+27,5	+18,8	39	115	154	23,8
Als Wasagphosphat								
7. 0,3 g P_2O_5 . . .	33,1	21,2	+27,5	+20,5	28	96	124	37,6
8. 0,6 g P_2O_5 . . .	37,0	19,4	+31,4	+18,7	46	126	172	26,8
9. 0,9 g P_2O_5 . . .	41,9	19,7	+36,3	+19,0	57	151	208	21,9
Als Rhenaniaphosphat								
10. 0,3 g P_2O_5 . . .	34,4	19,2	+28,8	+18,5	28	98	126	38,3
11. 0,6 g P_2O_5 . . .	38,2	19,4	+32,6	+18,7	52	131	183	28,7
Als Dikalziumphosphat								
12. 0,3 g P_2O_5 . . .	36,6	18,1	+31,0	+17,7	34	89	123	37,3
13. 0,6 g P_2O_5 . . .	39,6	16,0	+34,0	+15,3	69	117	186	29,2
14. 0,9 g P_2O_5 . . .	44,0	14,7	+38,4	+14,0	155	132	287	30,7
Als Lübeckphosphat								
15. 0,3 g P_2O_5 . . .	27,8	17,3	+22,2	+16,6	28	44	72	20,3
16. 0,6 g P_2O_5 . . .	33,7	21,6	+28,1	+20,9	28	96	124	18,8
17. 0,9 g P_2O_5 . . .	38,6	17,7	+33,0	+17,0	48	114	162	16,8

Wasag-Phosphat weist in seiner Leistung wenig Unterschiede gegenüber dem Superphosphat auf. Das Lübeck-Phosphat hat auf den Kornertrag recht gut gewirkt, dagegen die Strohentwicklung wenig gefördert. Die geringe Strohentwicklung wird auf eine Wachstumsstörung zu Beginn der Vegetationsperiode, über die oben berichtet wurde, zurückgeführt.

Auf dem leicht verschlämmenden, rohen Lehmboden sind die Erträge nicht besonders gut ausgefallen. Die Phosphorsäurewirkung war bei allen angewandten Phosphaten trotzdem recht bedeutend. Die Unterschiede in den Erträgen sind nicht sehr erheblich, dagegen ist die Ausnutzung der Phosphorsäure in der Lübeck-Phosphat-Reihe wesentlich geringer als in den übrigen Düngungsreihen. Das Wasag-Phosphat entsprach in der Wirkung dem Superphosphat.

Tabelle 4.

Gefäßversuch 162/1938.
Versuchsfrucht: Hafer.
Aussaat: 25. April 1938. Ernte: 2. August 1938.
Grunddüngung je Mitscherlich-Gefäß: 0,9 g N als Ammoniumnitrat
1,5 K_2O als Kaliumsulfat
10 g $CaCO_3$.
Versuchsergebnisse:

Differenz-Düngung	Mittel-Erträge		Mehrerträge Trockensbst.		P_2O_5-Aufnahmen		Insgesamt	Ausnutzung der P_2O_5-Düngung
	Stroh g	Korn g	Stroh g	Korn g	Stroh mg	Korn mg	mg	%
1. Ohne P_2O_5 . . .	16,5	4,8	—	—	29	32	61	—
Als Superphosphat								
2. 0,3 g P_2O_5 . . .	36,4	23,9	+19,9	+19,1	31	126	157	32,0
3. 0,6 g P_2O_5 . . .	38,7	21,2	+22,2	+16,4	61	146	207	24,3
4. 0,9 g P_2O_5 . . .	43,1	29,0	+26,6	+24,2	63	213	276	23,9
Als Thomasphosphat								
5. 0,3 g P_2O_5 . . .	35,5	19,0	+18,8	+14,2	43	102	145	28,0
6. 0,6 g P_2O_5 . . .	37,4	25,5	+20,9	+20,7	37	135	172	18,5
Als Wasagphosphat								
7. 0,3 g P_2O_5 . . .	37,7	26,1	+21,2	+21,3	31	128	159	32,7
8. 0,6 g P_2O_5 . . .	39,8	28,7	+23,3	+23,9	36	166	202	23,5
9. 0,9 g P_2O_5 . . .	41,6	30,9	+25,1	+25,5	54	216	270	23,2
Als Rhenaniaphosphat								
10. 0,3 g P_2O_5 . . .	35,4	27,2	+18,9	+22,4	34	128	162	33,7
11. 0,6 g P_2O_5 . . .	38,1	25,5	+21,6	+20,7	39	154	193	22,0
Als Dikalziumphosphat								
12. 0,3 g P_2O_5 . . .	35,8	26,6	+19,3	+21,8	24	125	149	32,7
13. 0,6 g P_2O_5 . . .	39,2	25,9	+22,7	+21,1	34	153	187	21,0
14. 0,9 g P_2O_5 . . .	38,6	27,7	+21,5	+22,9	60	211	271	23,3
Als Lübeckphosphat								
15. 0,3 g P_2O_5 . . .	32,5	21,2	+16,0	+16,4	25	95	120	22,0
16. 0,6 g P_2O_5 . . .	37,1	24,3	+20,6	+19,5	33	127	160	16,5
17. 0,9 g P_2O_5 . . .	38,2	25,5	+21,7	+20,7	54	156	210	16,6

Ausnutzung der Phosphorsäure.

Die Ausnutzung der Gesamtphosphorsäure im Wasag-Phosphat hat der des Superphosphates weitgehend entsprochen. Die Bewertung des Wasag-Phosphates wird nicht nach der wasserlöslichen P_2O_5, sondern nach der ammonzitratlöslichen Form erfolgen müssen.

Das Lübeck-Phosphat ist in fast allen Versuchen geringer ausgenutzt worden, als seiner Löslichkeit in Zitronensäure oder in der Petermannschen Ammonzitratlösung entspricht.

Zusammenfassung.

Das Wasag-Phosphat hat sich auf allen benutzten Böden im Vergleich zu den sonst verwendeten Phosphaten bewährt. Die Ausnutzung der P_2O_5 im Wasag-Phosphat entspricht etwa der Ausnutzung des Superphosphates. Auf dem sauren Lehm-

boden war das Wasag-Phosphat etwas günstiger in der Wirkung als das Superphosphat und die sonstigen Phosphate, auf dem Marschboden fiel es dagegen etwas ab. Die Bewertung der Phosphorsäure im Wasag-Phosphat wird nach der Ammonzitratlöslichkeit erfolgen können.

Das M-Phosphat (Lübeck-Phosphat) vermochte auf den leichten, humusarmen Sandböden die Erträge nicht so zu steigern wie das Superphosphat, was auf die gleichzeitige Kalkung der Böden zurückzuführen sein dürfte. Es entsprach in der Wirkung auf den Ertrag aber annähernd den sonst verwendeten Phosphaten. Die Ausnutzung der Düngerphosphorsäure war im Lübeck-Phosphat auffällig gering. [280]

Phosphorsäurefraktionen in Haferkorn und Spinatblättern in Abhängigkeit von verschiedener Phosphorsäuredüngung.

Ein Beitrag zum Problem der Qualitätsbeeinflussung durch Düngung.

Von **G. Michael.**

Aus dem Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin.

Eingegangen: 31. Oktober 1938.

Das Schwergewicht der Landwirtschaftschemie ist allmählich von der Erforschung der quantitativen Zusammenhänge zwischen Ernteerträgen und Düngung mehr und mehr auf die Ermittelung der qualitativen Zusammensetzung der Ernteprodukte verlagert worden, und zwar aus der Erkenntnis heraus, daß die Düngung nicht nur den Ertrag, sondern auch die Qualität der Ernte beeinflußt. Das Wort „Qualität" ist nun allerdings schwierig zu bestimmen. Es bezieht sich nicht nur, wie es hier in vorliegender Arbeit gemeint ist, auf die qualitative Zusammensetzung eines Ernteproduktes, sondern schließt meistens noch ein Werturteil in bezug auf einen Verwendungszweck (1a) mit ein, wie es aus Begriffen wie z. B. „gute Qualität" oder „qualitätsverschlechternd" hervorgeht. Daher kommt es, daß eine Begriffsbestimmung des Wortes Qualität bei landwirtschaftlichen, besonders aber bei gärtnerischen Ernteprodukten, so wie es Giesecke (1) an Hand einer Schrifttumzusammenstellung über derartige Qualitätsfragen in klarer Weise betont hat, mit großen Schwierigkeiten verbunden ist. — Neben anderen Merkmalen liegt ja ein wichtiger Hinweis für die Qualität in der Art der Verwendung zur Ernährung und Erhaltung des tierischen oder menschlichen Körpers. Der letzte Schritt, die Ausnutzung im menschlichen oder tierischen Organismus und der daraus abzuleitende Wert bestimmter Stoffgruppen, besonders aber ihre nützliche Menge, ist in den meisten Fällen noch lange nicht genügend wissenschaftlich unterbaut.

So scheinen z. B. in der Vitaminforschung neuere Untersuchungen darauf hinzudeuten, daß die Menge der verabreichten Vitamine nicht ohne Einfluß auf den Organismus ist, ja daß in besonderen Fällen bei nicht ganz ausgeglichener Vitaminzufuhr infolge antagonistischer Erscheinungen, wie sie Stepp (2) beschrieb, schädliche Wirkungen ausgeübt werden können.

Daß, fernerhin das Urteil über den „Wert" bestimmter Stoffgruppen in Ernteprodukten im Laufe der Zeit Änderungen unterworfen sein kann, dafür liefert die Betrachtung des Stickstoffs in den Ernteprodukten ein Beispiel. Während anfänglich der Gesamt-Stickstoff bzw. die daraus berechnete Rohproteinmenge, dann später nur der „fällbare" Teil als wertbestimmend galten — wobei die Art des Fällungsmittels noch zu berücksichtigen ist —, dürfte aber auch dessen Menge allein noch keinen eindeutigen Schluß auf den Nutzen im Tierkörper erlauben. Sie wäre zu diesem Zwecke auf dem Wege, wie ihn Alten und Mitarbeiter (3) neuerdings wiesen, durch Erforschung ihrer Baustoffe weiter zu spezifizieren, bevor der Wert einer Pflanze als Eiweißliefeanrt beurteilt werden kann.

Der letzte Entscheid über die Bedeutung und den ernährungsphysiologischen „Wert" bestimmter Stoffgruppen muß deshalb als wichtige Aufgabe der Medizin und Tierphysiologie überlassen werden. In den Bereich der Landwirtschaftschemie dagegen gehört es aber, zu erforschen, ob gewisse Veränderungen der Stoffgruppen etwa durch Düngung oder andere Kulturmaßnahmen überhaupt und innerhalb welcher Grenzen Schwankungen und Variationen hervorgerufen werden können. Denn während wir durch biochemische Untersuchungen über das Vorkommen von Stoffgruppen in Pflanzen und Pflanzenteilen schon mehr unterrichtet sind, so wissen wir über die Physiologie solcher Stoffgruppen und ihre düngungsmäßig veränderliche Variationsbreite doch viel weniger, und die Landwirtschaftschemie sieht, wie es Giesecke betonte, in dieser Forschungsrichtung eine wichtige Aufgabe.

In dieser Hinsicht soll nun auch die vorliegende Arbeit einen Beitrag dafür liefern, wie durch verschiedene Phosphorsäuredüngung die qualitative Zusammensetzung von Haferkorn und Spinat in bezug auf ihre phosphorhaltigen Stoffgruppen verändert werden kann, welche Phosphorfraktionen also den durch Düngung veränderten Gesamt-Phosphorgehalt im einzelnen ausmachen.

Material.

Das Material, Haferkornmehl, entstammt zwei Gefäßversuchsreihen, die zur Ermittelung der Ausnutzung verschiedener neuartiger Phosphorsäuredüngemittel im Vergleich zu handelsüblichen angelegt waren und die schon (4) geschrieben worden sind. Zum Studium der oben skizzierten Frage eignen sich Gefäßversuche besonders gut, da die Düngung extrem gewählt werden kann und demzufolge auch die Ausschläge in den Phosphorfraktionen, wenn sie überhaupt durch Düngung und Boden beeinflußbar sind, dann als größtmögliche erfaßt werden können. Die Versuchsanordnung gestattete einen Einblick in die Fragen, wie weit Gesamtphosporsäuregehalt und einige zu bestimmende Phosphorsäurefraktionen im Haferkorn und Spinat durch verschiedene Phosphorsäuredüngemittel, durch verschiedene Mengen derselben und bei Wachstum auf verschiedenen Böden beeinflußbar sind. Wir wollen uns zunächst erst auf Hafer beschränken, während die Untersuchungen an Spinat zum Schluß behandelt sind.

Gesamt-Phosphorsäuregehalt in Abhängigkeit von der Düngung.

Das Ergebnis der veröffentlichten Versuche (4) über die Wirkung auf den Gesamt-Phosphorsäuregehalt stimmt mit dem vieler anderer Untersuchungen überein und sei nur ganz kurz wiederholt: In Gefäßversuchen, d. h. bei optimaler Bewässerung, Durchlüftung und hinreichender Versorgung mit allen anderen Nährstoffen werden die gegebenen Phosphate auf sauren, austauschsauren Böden am besten ausgenutzt, auf basengesättigten, neutralen bis kalkreichen nur gering, von den gegebenen Düngern wiederum diejenigen mit einem großen Anteil an wasserlöslicher bzw. zitronensäurelöslicher Phosphorsäure. In Abhängigkeit von der gegebenen Menge ist die Aufnahme durch die Pflanzen zwar bei der höchsten Gabe am größten, die prozentuale Ausnutzung der gegebenen Menge aber in der Regel bei geringer Gabe größer als bei der höchsten. Hierbei spielt natürlich die Adsorptionskraft des Bodens, wie schon aus den Versuchen von Blair und Prince (5) 1932 mit verschieden stark adsorbierenden Böden hervorgeht, eine Rolle.

In den Versuchsreihen, in denen wenig Phosphor aufgenommen wurde (bzw. nur langsam aufgenommen werden konnte), wie auf dem stark adsorbierenden Boden Rettgau, wird bei reifen Pflanzen der gesamte Phosphor im Korn gefunden. Blätter und Stengel entleeren sich also während der Reife bis auf einen kleinen Rest. Bei stärkerer Phosphorsäureaufnahme steigt der Phosphorgehalt im Korn bis etwa auf das Doppelte, während im Stroh der Gehalt bis auf das Zehnfache steigt, also als Luxusaufnahme angesehen werden kann, der für die Kornproduktion keine direkte Verwendung mehr findet und gar nicht mehr in die Körner transportiert wird.

Eine solche zeitliche Verlagerung der Phosphorsäure aus den Stengeln und den Blättern in die Körner veranschaulichen z. B. die Ergebnisse auf sauren Böden mit Wasag-Phosphat. Bei ihnen ging infolge der ungünstigen Wachstumsbedingungen (z. B. auf Königsmoor bei einem pH-Wert von 3,5) der Reifeprozeß, d. h. die Einwanderung ins Korn, langsamer, so daß die Körner klein und unreif geerntet wurden. Der Kornertrag war infolgedessen gering (z. B. 8 g gegenüber 23 g bei Thomasmehl), und gleichzeitig ist eine größere Phosphormenge im Stroh zurückgeblieben als beim Thomasmehl. Der dennoch hohe prozentuale Phosphorsäuregehalt im Korn auf Wasag ist kein Gegenbeweis gegen die noch nicht abgeschlossene Phosphorsäureeinwanderung, denn bekanntlich erreicht die Einwanderung von Phosphor gegenüber den Kohlehydraten früher ein Maximum, was zur Folge hat, daß vor der Reife der prozentuale Phosphorsäuregehalt am größten ist und dann wieder abnimmt, wie es schon Pierre (6) 1875 an Roggen zeigte.

Der Gesamt-Phosphorsäuregehalt von Haferkorn, der bei den erwähnten Gefäßversuchen starken, von Phosphorsäuredüngung und Boden abhängigen Schwankungen unterlag, sollte nun, dem Plan der Arbeit entsprechend, in einzelne Fraktionen zerlegt werden, um zu ermitteln, welche von ihnen die Gesamt-Phosphorsäureveränderung bedingt und welchen Schwankungen die Fraktionen überhaupt unterliegen.

Methodik der Phosphorsäurefraktionierung im Haferkornmehl.

Serienanalysen, wie sie hier geplant waren unter Beibehaltung der Phosphorsäure-Bilanz, sind in dem Sinne noch nicht durchgeführt worden. Es mußte deshalb zunächst durch orientierende Vorversuche eine geeignete Methodik ausgearbeitet werden. Es war nicht die Aufgabe, schon im Schrifttum beschriebene phosphorsäurehaltige Körper im Haferkornmehl nachzuprüfen oder die in Frage stehenden Stoffgruppen durch Reindarstellung zu identifizieren, sondern vielmehr, die in den einzelnen Körnern variierende Gesamt-Phosphorsäuremenge durch eine in Serienbestimmungen erfaßbare Fraktionierung durch nacheinander erfolgende Extraktionen mit verschiedenen Lösungsmitteln aufzuteilen, so daß die Summe der einzelnen Phosphorsäurewerte wiederum den Gesamt-Phosphorsäuregehalt ergibt. Die Art der Extraktionsmittel mußte so gewählt werden, daß nach Möglichkeit mit einem jeden eine erschöpfende Extraktion einer bestimmten Stoffgruppe verbunden ist.

Als erste Fraktion, die mehr oder weniger scharf umrissen ist, kommt der Phosphatid-Phosphor in Betracht, der in erheblichen Mengen im Samen enthalten ist und der durch Extraktion mit organischen Lösungsmitteln von dem übrigen Phosphor abzutrennen wäre. Es sind eine Reihe von Extraktionsmethoden beschrieben. Hier kam es nicht darauf an, reines Lezithin zu isolieren, sondern lediglich die Phosphorsäuremenge zu bestimmen, die in solcher Bindungsform vorliegt.

Nach den Untersuchungen von Schulze und Mitarbeitern (7) soll Äther allein als Extraktionsmittel Phosphatide nicht immer vollständig extrahieren. Alkohol allein soll eine größere Menge an Phosphorsäure herauslösen, wobei allerdings fraglich sein soll, ob die ganze auf diese Weise extrahierte Phosphormenge tatsächlich der Phosphatidfraktion angehört, besonders, wenn es sich nicht um streng absoluten Alkohol handelt. Aus diesem Grunde wird häufig der alkoholische Auszug nach Abdestillieren des Alkohols nochmals einer Extraktion mit einem wasserfreien Lösungsmittel unterworfen.

Eine solche Methode schien uns für Serienanalysen geeignet, und wir verfuhren in Anlehnung an die Extraktionsmethoden des Handbuchs der Pflanzenanalyse von Klein (8) und des der Biologischen Arbeitsmethoden von Abderhalden (9) wie folgt: Die zwei Stunden bei 150° C im Trockenschrank getrockneten, zu feinem Mehl zermahlenen Haferkörner wurden eingewogen (2 g gewöhnlich) und nacheinander zweimal mit 98—99%igem Alkohol, der mit 1% Petroläther vergällt war, am Rückflußkühler zwei Stunden lang extrahiert und dann filtriert. Die vereinigten Filtrate wurden eingedampft, der dabei verbleibende Rückstand eine Stunde mit Chloroform am Rückflußkühler erhitzt. Die filtrierte klare Chloroformlösung wurde eingedampft und mit CaO-Zusatz verascht. Um die Bilanz zu wahren, damit die Summe der Einzelwerte auch tatsächlich den analytisch gefundenen Gesamt-Phosphorwert ergibt, wurde ebenfalls der auf dem Filter verbleibende, in Alkohol ge-

löste, aber nicht in Chloroform lösliche Anteil auf seinen Phosphorgehalt untersucht.

Die Bestimmungen der Phosphorsäure erfolgten jedesmal kolorimetrisch nach Zinzadze unter Benutzung des photoelektrischen Kolorimeters, eine Methode, deren Brauchbarkeit bereits beschrieben worden ist (10). Zur Kontrolle der Eichkurve wurde bei jeder Analysenreihe von etwa 16 Aschenlösungen eine Standard-P_2O_5-Lösung mit angefärbt.

Ein Vergleich der Phosphorwerte, die nach unserer Methode gefunden wurden, mit den durch bloße Äther-Extraktion ermittelten, geht aus der Tabelle 1 hervor. Die Tabelle bestätigt die Befunde von Schulze (7). Durch achtstündige Ätherbehandlung im Soxhlet wird gegenüber einer Alkohol-Chloroform-Extraktion nur eine bedeutend geringere Menge an Phosphor extrahiert, die auch durch eine zweite Extraktion im Soxhlet nach Verreiben der Substanz im Mörser nicht wesentlich vermehrt werden konnte. Erst eine an-

Tabelle 1.

Phosphorsäure-Extraktionen mit verschiedenen Extraktionsmitteln und verschiedener Vorbehandlung des Materials. P_2O_5-Werte in ‰ der bei 105° C getrockneten Substanz.

Material: Korn Nr. 289 des Jahres 1938, Reno auf Moorboden.

Alk = Alkohol, Chl = Chloroform, Ä = Äther, Sox = Soxhletapparat.

	Bei 105° C getrocknet		Vac. Exsicc. trocken	Lufttrocken	
1. Extrakt.	Alk+Chl 0,54	Ä Sox 0,28	Ä Sox 0,30	Ä Sox 0,31	Ä Sox 0,31
2. Extrakt.	— —	— —	Ä Sox 0,03	Ä Sox 0,03	Alk+Chl 0,23
Summe	0,54	(0,28)	0,33	0,34	0,54

schließende Extraktion mit heißem Alkohol und danach mit Chloroform brachte wieder eine größere Menge Phosphor in Lösung. Die Summe der so extrahierten Phosphorwerte (0,31 + 0,23‰) stimmte mit der sofort mit Alkohol-Chloroform extrahierten überein. Aus diesem Befund geht hervor, daß es sich bei dem chloroformlöslichen Phosphor nicht um eine einheitliche phosphorführende Stoffgruppe handeln wird, sondern daß sie entweder aus zwei verschiedenen Stoffgruppen zusammengesetzt ist, wie es Erlandsen für die Phosphatide des Herzmuskels zeigte, oder aber in verschiedener Bindungsform vorliegt, wie es Hoppe-Seyler (11) zuerst vermutete.

Wegen mangelnder Kenntnis auf dem Gebiet pflanzlicher Phosphatide läßt sich leider eine Entscheidung noch nicht treffen, und es bedarf noch einer eingehenden Erforschung dieses Stoffgebietes.

Eine Stickstoffbestimmung, die zur Identifizierung hätte herangezogen werden können, schlug fehl. Sie lieferte 5,0 mg N auf 5,4 mg chloroformlösliches P_2O_5, also viel zu viel Stickstoff, als er dem molekularen P : N-Verhältnis reinen Lezithins entsprechen würde und von anderen stickstoffhaltigen Stoffen im Extrakt herrühren muß.

Wenn wir im Laufe der Arbeit den chloroformlöslichen Phosphor mit „Phosphatid-Phosphor“ be-

zeichnen, so mögen all diese Unsicherheiten stets berücksichtigt werden.

Aus der Tabelle 1 geht weiterhin hervor, wie stark die Unterschiede der Phosphorwerte bei verschiedener Vorbehandlung des Materials ausfallen. Es ist natürlich demnach bei der Beurteilung der Ergebnisse ebenfalls stets zu beachten, daß es sich um längere Zeit im gemahlenen Zustand gelagertes lufttrockenes Mehl handelt, das, wenn auch in geschlossenen Flaschen, doch immerhin Veränderungen und Umsetzungen ausgesetzt gewesen sein könnte, und außerdem dann vor der Untersuchung bei allen Proben gleichmäßig zum Trocknen erhitzt wurde.

War der „Phosphatid-Phosphor“ durch Extraktion mit Alkohol und der Nachbehandlung des Alkoholextraktes mit Chloroform von dem übrigen Phosphor des Korns leicht abzugrenzen, war eine Unterteilung des verbleibenden übrigen Phosphors um so schwieriger. Dazu gehört in erster Linie der Phosphor, der als Eiweißbaustein in den Nucleoproteiden niedergelegt ist, dann der, der der Stärke angehört, ferner die Phosphorsäureester, wie etwa glyzerinphosphorsaure Salze und das Phytin, sowie schließlich der anorganische Phosphor. Sie alle sind in Alkohol und Äther unlöslich, also noch im Rückstand enthalten. Zwar sind schon Bestimmungen der einzelnen Gruppen durchgeführt worden, noch nie aber so, daß möglichst in einem Analysengang die Bilanz erfaßt werden konnte, auf die es uns in erster Linie ankam.

Am leichtesten zu isolieren zu sein schienen die Phosphorsäureester zusammen mit den anorganischen Phosphaten. Rippel (12) benutzt zur Extraktion und weiteren Trennung beider Stoffgruppen 1 % Essigsäure, Heubner (13) gibt 0,6 % Salzsäure an.

Beide Extraktionsmittel schienen auch für unsere Zwecke geeignet, da andererseits durch sie auch eine gute Abtrennung vom Restphosphor möglich schien, denn der danach verbleibende Stärkephosphor und auch der weitaus größte Teil des Nucleidphosphors sind in schwach saurem Medium unlöslich und wären auf diese Weise von dem in Lösung gehenden anorganischen Phosphor und den Phosphorsäureestern abgegrenzt. Um zur Entscheidung zu gelangen, welches von den beiden Extraktionsmitteln das geeignetere sei, wurden beide in ihrer Wirkung verglichen. Dabei zeigte es sich aber (Tab. 2), daß durch 0,6%ige Salzsäure erheblich mehr Phosphor extrahiert wurde (z. B. 7‰) als bei gleich langer Behandlung mit 1%iger Essigsäure (z. B. 4‰).

Die Extraktionen wurden jedesmal so durchgeführt, daß die Substanz, in der durch Alkohol und Chloroform die vorhergehenden Fraktionen bestimmt waren, zwei Stunden lang mit 70 ccm des Extraktionsmittels auf einem horizontalen Schüttelapparat bei Zimmertemperatur im Erlenmeyerkolben geschüttelt und dann scharf abzentrifugiert wurde. Bei diesen orientierenden Vorversuchen wurde jedesmal der Zentrifugenrückstand mit etwas destilliertem Wasser nachgewaschen und das Waschwasser nach nochmaligem Zentrifugieren der ersten Lösung hinzugefügt, eine Operation, die bei den späteren Reihenuntersuchungen fortgelassen wurde. Die Lösungen wurden dann in Veraschungsschalen eingedampft und mit CaO-Zusatz verascht. Die in den Tabellen angegebenen Werte stellen jedesmal Mittelwerte aus zwei Parallelbestimmungen dar.

Tabelle 2.

Wirkung verschiedener Extraktionsmittel bei nacheinander erfolgender Extraktion. P_2O_5-Werte in ‰ der Trockensubstanz.

Haferkorn Nr.	93—96	41—44			
Alkohollösliche P_2O_5 . .	0,68	0,65	0,65	0,65	0,65
Von dieser Menge in Chloroform löslich	(0,48)	(0,50)	(0,50)	(0,50)	(0,50)
Essigsäure 1. Fraktion	3,9	4,0	—	3,9	—
Essigsäure 2. Fraktion	0,12	—	—	—	—
Salzsäure 1. Fraktion	3,3	—	7,0	3,5	—
Salzsäure 2. Fraktion	1,3	—	—	—	—
Salzsäure 3. Fraktion	0,6	—	—	—	—
Trichloressigsäure . . .	—	—	—	—	7,0
Rückstand-P_2O_5	1,2	6,5	3,4	3,1	3,6
Summe	11,1	11,15	11,05	11,15	11,25

Da Essigsäure und Salzsäure verschiedene Mengen an Phosphorsäure extrahiert hatten, mußte entschieden werden, welches Extraktionsmittel, oder ob eine Behandlung mit beiden nacheinander, für unsere Zwecke den größten Erfolg verspricht. Würden wir die Fraktionierung so vornehmen, daß zuerst mit Essigsäure, anschließend mit Salzsäure extrahiert und zum Schluß der Rückstandphosphor bestimmt wird, wie es in ähnlicher Weise von Kostychew und Berg (14) bei Kalziumuntersuchungen durchgeführt wurde, so würden wir zunächst nur Klarheit gewinnen über den Grad der Löslichkeit der vorhandenen Phosphorsäure, aber noch keinen Schluß auf die Art der Stoffgruppen ziehen dürfen. Das höchste Ziel bei einer Fraktionierung muß es aber sein, sie so zu lenken, daß in den Fraktionen auch tatsächlich möglichst einheitliche Stoffgruppen und diese nach Möglichkeit erschöpfend, also vollständig und restlos, in ihnen enthalten sind. Einen Anhaltspunkt hat man darin, daß eine wiederholte Extraktion mit dem gleichen Mittel, also wiederholtes zweistündiges Schütteln, nur noch sehr wenig Phosphorsäure aus dem Material herauslöst. Wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, trifft dies für die Essigsäure zu, nicht aber für die Salzsäure. Die Essigsäurefraktion umschließt also mehr oder weniger in sich abgeschlossene Stoffgruppen, und die Salzsäure erfaßt eine neue, von der ersten verschiedene Phosphorsäurefraktion. — Während zwischen der Essigsäure- und Salzsäurefraktion diese scharfe Trennung zu ziehen ist, scheint eine solche zwischen Salzsäureextrakt und Rückstandphosphor zu verschwinden. Dies wird vielleicht seinen Grund darin haben, daß die Nucleoproteide bzw. deren phosphorhaltige Baustoffe in saurem Medium zwar schwer löslich sind, daß sie aber durch Einwirkung höherer Wasserstoffionenkonzentration hydrolisiert werden, wobei freie Phosphorsäure abgespalten wird.

So soll z. B. nach Yamagave (15) durch n/10 Schwefelsäure Hefeadenylsäure in zwei Stunden zur Hälfte hydrolisiert werden und entsprechend freie Phosphorsäure liefern.

Es ist deshalb nicht zu verwundern, daß die Extraktion mit HCl eine weit größere Menge an Phosphorsäure in Lösung bringt, ebenso noch in zweiter und dritter Wiederholung. Es wird sich bei dem HCl-löslichen Phosphor wahrscheinlich nicht um eine einheitliche Stoffgruppe handeln. Der Rückstandphosphor wird allmählich angegriffen und verliert somit den Charakter einer in sich geschlossenen vollständigen Fraktion.

Aus diesem Grunde kam auch die Trichloressigsäure zur Fraktionierung nicht in Frage, wenngleich diese aus dem Grunde hätte bevorzugt werden können, weil dann gleichzeitig eine Eiweißfällung und Eiweiß-N-Bestimmung hätte erfolgen können. 1 % Trichloressigsäure wirkt bei gleicher Einwirkungsdauer wie 0,6 % HCl (vgl. Tabelle 2), also wahrscheinlich auch in gleicher Weise zersetzend auf den Rückstand-Phosphor.

Die Beibehaltung der Dreiteilung in essigsäurelöslichen, salzsäurelöslichen und Rückstandphosphor, besonders aber die wichtigste Abgrenzung der erstgenannten Fraktion, schien noch durch eine andere Untersuchung begründet. Es wurden einige Kalzium- und Magnesiumbestimmungen in diesen Fraktionen durchgeführt, und zwar das Kalzium als Oxalat gefällt und mit n/20 Kaliumpermanganat titriert und das Magnesium nach der Mikromethode von Alten, Weiland und Kurmies (16) bestimmt. Dabei ergab sich (Tab. 3), daß sich fast die gesamte Ca- und Mg-Menge im Essigsäureextrakt befand, eine Menge, die zur Abbindung der darin enthaltenen Phosphorsäure in Form von $CaPO_4^-$ und $MgPO_4^-$ bei weitem ausreichte.

Tabelle 3.

Kalzium- und Magnesiumgehalt in Beziehung zum Phosphorsäuregehalt einiger Fraktionen in ‰ der Trockensubstanz.
Die P_2O_5-Werte sind der Tabelle 4 entnommen.

	Korn Nr. 5/8			Korn Nr. 9/12			Korn Nr. 93/96			Korn Nr. 41/44		
	P_2O_5	CaO	MgO	P_2O_5	CaO	MgO	P_2O_5	CaO	MgO	P_2O_5	CaO	MgO
Essigsäurefraktion	0,9	1,4	1,7	1,2	—	—	3,9	1,1	2,6	3,9	—	—
Salzsäurefraktion	1,9	0,5	0,3	2,6	—	—	3,4	0,3	0,3	3,5	—	—
Rückstandfraktion	2,8	0	0	2,9	—	—	3,1	0	0	3,1	—	—
Gesamt-Gehalt	6,2	1,9	2,0	7,3	1,85	2,3	11,1	1,4	2,9	11,2	1,5	2,7

Nehmen wir $CaPO_4^-$ und $MgPO_4^-$ als Bindungsformen an, so entfallen
auf 1 CaO und 1 MgO je $\frac{1}{2}$ P_2O_5
auf 56 mg und 40 mg je 71 mg.
Beim Kornmehl Nr. 93—96 entfallen demnach (vgl. Tabelle 3)
auf 1,1 mg CaO = 1,4 mg P_2O_5
auf 2,6 mg MgO = 4,6 mg P_2O_5.
6,0 mg P_2O_5.

An dem vorhandenen Ca und Mg könnten demnach 6,0 mg P_2O_5 gebunden sein, während nur 3,9 mg P_2O_5 vorhanden sind. — Bei dem anderen untersuchten Mehl Nr. 5—8 ist der Basenüberschuß in der Essigsäurefraktion ein noch höherer.

Die gesamte Phosphorsäure in dieser Essigsäurefraktion kann also in Bindung mit Ca und Mg aufgefaßt werden, sei es allein in anorganischer Form oder in Form der Phosphorsäureester.

Die HCl-Fraktion dagegen enthielt nur sehr wenig an Ca und Mg, deren Menge bei weitem nicht zur Abbindung des Phosphors ausreichen würde. Nur eine geringe Phosphorsäuremenge dürfte an Ca und Mg gebunden sein, was wieder dafür sprechen könnte, daß es sich, jedenfalls teilweise, um abgespaltenen Phosphor aus der Bindung mit organischen Basen (Purine, Pyrimidinkörper) handeln könnte. Welche Stoffgruppen tatsächlich an dieser salzsäurelöslichen Phosphorsäure-Fraktion beteiligt sind und besonders die Frage, ob durch die vorhergehende Essigsäure-Extraktion tatsächlich alle phytinähnlich gebundene Phosphorsäure dem Mehl bereits entzogen ist und der danach verbleibende Phosphor in seiner Gesamtheit Eiweißphosphorsäure darstellt, so wie es Rippel für Gerstenmehl beschrieb, soll in dieser ersten orientierenden Arbeit nicht entschieden werden.

Dieser Unsicherheit Rechnung tragend, wurde die vorher beschriebene Methodik der Unterteilung in essigsäure- und salzsäurelösliche und Rückstand-Phosphorsäure beibehalten, so daß folgende Phosphorsäurefraktionen zur Bestimmung gelangten: 1. Die in 98—99% Alkohol gelöste und nach Abdestillieren des Alkohols in Chloroform lösliche P_2O_5, 2. die alkohollösliche, aber nicht bei Nachbehandlung in Chloroform gelöste P_2O_5, 3. die essigsäurelösliche, 4. die in 0,6% Salzsäure gelöste und 5. die verbleibende Rückstandphosphorsäure.

Welche Stoffgruppen den beiden ersten Fraktionen zugrunde liegen dürften, ist oben schon kurz gestreift. Die Essigsäurefraktion wird sich im wesentlichen aus den anorganischen Phosphaten und den organisch gebundenen Phosphorsäureestern mit dem wichtigsten, dem Phytin, zusammensetzen. Eine Trennung dieser beiden Stoffgruppen wurde an einigen Beispielen durchgeführt.

Die Phytinfällung erfolgte mit Kupferazetat in 1% Essigsäure nach Rippel (12) und die Fällung des anorganischen Phosphors nach Embden (17) mit Strychnin-Ammoniummolybdat in dem Filtrat der Kupferfällung. Diese Kombination beider Fällungen ist nach Rippel deshalb zweckmäßig, weil durch das Kupfer die Hauptmenge des Phytins ausgefällt wird, das dann bei der Fällung nach Embden nicht mehr störend wirken kann.

Die Salzsäurefraktion wird, wie schon angedeutet, keine einheitliche Stoffgruppe umfassen.

Jedenfalls scheinen die Ergebnisse unserer Versuche einen solchen Schluß wahrscheinlich zu machen, obwohl wir damit in Gegensatz treten zu Anschauungen, wie sie Amthor (18) 1884 darlegte. Er bestimmte den „Nuclein"-Phosphor als Rückstand nach einer Behandlung mit etwa 2,5% Salzsäure 24 Stunden bei 60—70°, und es muß wohl als fraglich erscheinen, ob er tatsächlich den ganzen Nucleoproteid-Phosphor auf diese Weise erfaßte, wie es hier beabsichtigt war.

Der Rückstandphosphor setzt sich wohl im wesentlichen aus zwei Stoffgruppen zusammen. Das ist einmal die in der Einwirkungszeit noch unzersetzt gebliebene Nucleotid-Phosphorsäure, die mit Purinen und Kohlehydraten zusammen als Nucleinsäuren an Eiweiß gebunden ist. Der andere Phosphor ist derjenige, der der Stärke angehört.

Gewöhnlich versteht man ja unter dem chemischen Begriff der Stärke nur die Kohlehydrat-Komponenten. Bei Analysen von Naturstärken fand man aber stets einen mehr oder weniger hohen Gehalt an Asche, die neben unbeträchtlichen Mengen von SiO_2 stets beträchtliche Mengen von Phosphorsäure enthielt, über deren Herkunft man nicht genau unterrichtet ist, ob sie etwa mit den Kohlehydraten esterartig verbunden ist oder nur von Resten der Plastiden herstammt, in denen ja die Stärkekörner entstehen.

Dieser Stärkephosphor ist weder durch Alkohol noch durch verdünnte Säuren in der Zeit, wie sie im Analysengang verwendet wurde, löslich und im Rückstand quantitativ enthalten, was seit Northrop (19) immer wieder festgestellt wurde.

Vielleicht ließe sich künftig eine Trennung zwischen dem Stärke-Phosphor und dem Nuclein-Phosphor ermöglichen, indem man mit etwas stärkerer Salzsäure den Nucleoproteid-Phosphor allmählich in Lösung zu bringen sucht.

Dieser erwähnte Stärkephosphor war Gegenstand einer kurzen Untersuchung zum Zwecke der Feststellung, ob eventuell auch der Phosphorgehalt isolierter Stärke durch Düngung, also bei verschieden hohem Gesamt-Phosphorsäuregehalt im Korn, Änderungen erfahren könnte. Das Ergebnis wird weiter unten behandelt.

Die Isolierung der Stärkekörner erfolgte nach Entfetten des Mehles mit heißem Alkohol mittels Auspressen durch ein Tuch und anschließendes fraktioniertes Zentrifugieren aus 0,3% Salzsäure zur Entfernung des anhaftenden Phosphors. Nur die rein weiße Schicht aus einem engen Zentrifugenglas wurde mit Alkohol gewaschen und vorsichtig getrocknet. Zur P_2O_5-Bestimmung wurden die verschiedenen, auf gleiche Weise bis zur annähernden Gewichtskonstanz getrockneten, Stärkeproben unter CaO-Zusatz verascht.

Ein Hinweis für die Reinheit der Stärke hätte durch eine N-Bestimmung erbracht werden können, die eventuell verunreinigendes Eiweiß angezeigt hätte. Sie könnte aber in jedem Falle bei der geringen Menge zur Verfügung stehenden Materials nur unsichere niedere Werte liefern. Deshalb wurde ein anderer Weg beschritten, ähnlich dem, wie ihn Lindet (19a) zur Stärkebestimmung angab, nämlich eine Reinigung mit Pepsin-Salzsäure, und zwar 20 Stunden bei 35° C (0,25 g Pepsin / 100 ccm n/200 HCl). Durch die Salzsäure wäre einmal anhaftendes anorganisches Phosphat bzw. Phytin-P, durch Pepsin-HCl das eventuell verunreinigende Eiweiß in Lösung gebracht. Allerdings wird anhaftender Nuclein-P wohl durch die schwache Salzsäure kaum hydrolisiert werden, denn er ist gerade als Verdauungsrückstand auf diese Weise häufig bestimmt worden. — Das Ergebnis dieses Reinigungsprozesses zeigte, daß der Phosphor-Gehalt nicht verändert wurde. Die geringen Schwankungen liegen innerhalb der Fehlergrenze.

Ergebnisse.

Alle Kornanalysen, die nach der oben beschriebenen Methodik durchgeführt wurden, sind in der Tabelle 4 angegeben und zur besseren Übersicht in der Abbildung 1 graphisch dargestellt. Das Ergebnis sei zunächst kurz skizziert:

Tabelle 4.

Phosphorsäure-Fraktionen in Haferkorn, auf verschiedenen Böden mit verschiedenen Phosphorsäure-Düngern und in verschiedenen Jahren in Gefäßkulturen gewachsen. P_2O_5-Werte in ‰ der Trockensubstanz. Die Charakterisierung der Böden und Düngemittel ist aus der früher beschriebenen Arbeit (4) ersichtlich.

Fraktionen:					a	a_1	b	c	d	e	f
Versuchs-Nr.	Korn-Nr.	Boden	P_2O_5-Art	ermittelter Gesamt-P_2O_5-Gehalt	Alkohollöslicher P_2O_5-Gehalt	von a chloroformlöslicher P_2O_5	Essigsäurelöslicher P_2O_5	HCl-löslicher P_2O_5	Rückstand P_2O_5	Summe a—d	Summe c+d
Versuchsjahr 1937:											
1.	5—8	Glassand	Réno I	6,1	0,58	0,42	0,9	1,9	2,8	6,2	4,7
2.	9—12		Réno II	7,0	0,60	0,46	1,2	2,6	2,9	7,3	5,5
3.	41—44		Superphosphat	11,3	0,65	0,50	3,9	3,5	3,1	11,2	6,6
4.	85—88	G + Torf	Superphosphat	11,4	0,63	0,46	4,2	3,3	3,6	11,7	6,9
5.	89—92	Königsmoor	ohne P_2O_5	5,8	0,65	0,50	1,2	1,7	2,5	6,0	4,2
6.	93—96		Réno I	11,1	0,68	0,48	3,9	3,4	3,1	11,1	6,5
7.	101—4		Wasag	13,2	0,73	0,57	4,5	3,9	4,4	13,5	8,3
8.	113—6	Zeestow	ohne P_2O_5	7,0	0,64	0,51	1,1	2,5	2,9	7,1	5,4
9.	117—0		Réno I	7,0	0,72	0,55	1,1	5,5		7,3	5,5
10.	125—8		Wasag	10,3	0,67	0,53	1,8	3,9	3,9	10,2	7,8
11.	137—0	Rettgau	ohne P_2O_5	5,4	0,59	0,47	0,9	1,8	2,4	5,7	4,2
12.	145—8		Réno II	5,5	0,52	0,46	1,1	4,4		6,0	4,4
Versuchsjahr 1938:											
13.	280—2	Moorboden	ohne P_2O_5	7,5	0,65	0,55	1,1	2,6	3,2	7,6	5,8
14.	289—1		Réno II	8,8	0,65	0,54	1,2	3,3	3,6	8,7	6,9
15.	316—8		Thomasmehl	10,9	0,73	0,64	2,8	3,7	3,5	10,7	7,2

1. Der alkohollösliche Phosphoranteil (a) ist in allen Kornmehlen, auf Trockensubstanz bezogen, annähernd gleich geblieben. Bei Erhöhung des Gesamt-Phosphorgehaltes wird demnach die auf diese Weise extrahierte Fraktion nicht verändert. Fast die gesamte Phosphorsäuremenge dieser Fraktion ist in Chloroform löslich. Der unlösliche Rest ist unbedeutend und bei jedem Mehl annähernd gleich hoch.

2. Der essigsäurelösliche Phosphoranteil (b) ist von allen Fraktionen derjenige, der den stärksten Schwankungen unterworfen ist. In den Mehlen mit dem höchsten Gesamt-Phosphorgehalt beträgt er das Vierfache von dem der phosphorsäurearmen Körner. Er steigt nicht kontinuierlich an, sondern ist erst bei Körnern mit höherem Gesamt-Phosphorsäuregehalt sichtbar vermehrt.

2a. Der im Anschluß an die Essigsäureextraktion verbleibende Restphosphor (f = c + d) steigt um das Doppelte an.

3. Der an die Essigsäureextraktion sich anschließende Salzsäureauszug (c) schwankt in engeren Grenzen als der Essigsäure-

auszug. Er steigt mehr oder weniger kontinuierlich mit zunehmendem Gesamt-Phosphorsäuregehalt an, und zwar auch schon bei den phosphorsäurearmen Mehlen.

3a. Der anschließend an die Salzsäurefraktion verbleibende Rückstandphosphor (d) nimmt mit steigendem Gesamt-Phosphorgehalt nur schwach zu.

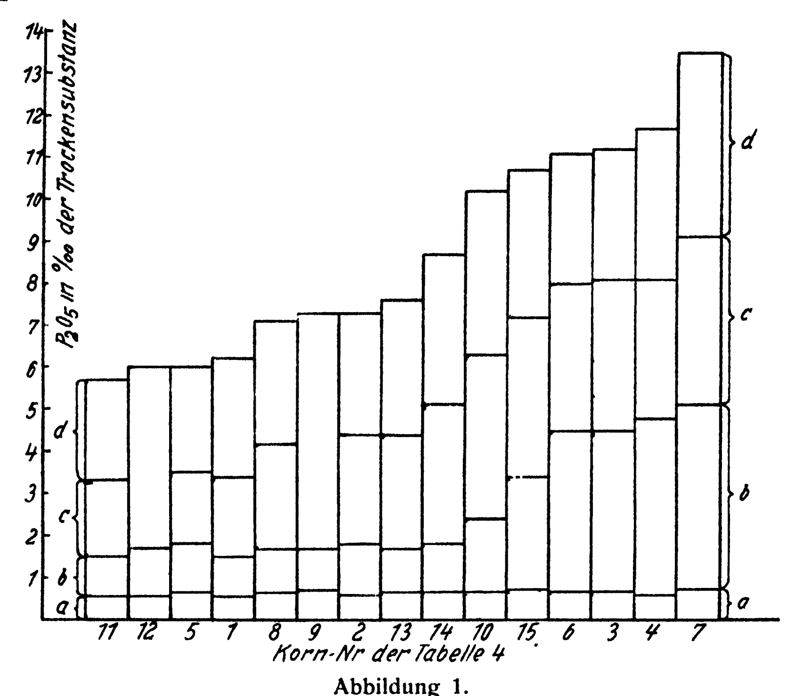


Abbildung 1.

Die Aufteilung des Gesamt-P_2O_5-Gehaltes der einzelnen Kornmehle in P_2O_5-Fraktionen. Kornmehle nach steigendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt geordnet. (Wegen der Fraktionen a—d und der Korn-Nr. vgl. Tab. 4.)

Erörterung der Ergebnisse.

Daß sich die Fraktionen in so eindeutiger Beziehung zum Gesamt-Phosphorgehalt darstellen lassen, ist ein Hinweis dafür, daß die bestimmten Phosphorfraktionen lediglich als Funktion des jeweiligen prozentualen Gesamt-P_2O_5-Gehaltes des Kornes angesehen werden können, der seinerseits von Düngung und Boden beeinflußt wird. Die hier gewählten Beispiele der Mehle, an denen die Fraktionierung durchgeführt wurde, sind extrem. Vor allem aber entstammen die Körner zwei verschiedenen Versuchsjahren. Die Werte des zweiten Jahres (Nr. 13—15 der Tabelle 4) ordnen sich trotzdem zwanglos in den Kurvenverlauf des ersten Jahres ein, so daß die Fraktionen lediglich als Funktion dieses Gesamt-Phosphorgehaltes angesehen werden können.

Ein anderes Beispiel liefern Versuch Nr. 3 und 6 (siehe Tabelle 4). Hierbei sind Phosphate und Böden so extrem wie möglich, bei 3 das am

leichtesten aufnehmbare Phosphat, Superphosphat, auf Sand bei einem pH-Wert von 6,3, im Versuch 6 das schwerst aufnehmbare Rénophosphat auf Königsmoor bei einem pH-Wert von 4,1. Beide Kombinationen haben den gleichen prozentualen Gesamtphosphorgehalt veranlaßt, damit sind auch die Phosphorfraktionen gleich.

Eine besondere spezifische Wirkung eines bestimmten Düngemittels oder Bodens auf Phosphorfraktionen ist also demnach im großen und ganzen nicht zu erkennen, nur der Einfluß auf den Gesamt-Phosphorgehalt nach Maßgabe der Aufnehmbarkeit der gegebenen Phosphate.

War dieser summarische Überblick verhältnismäßig leicht aus der Tabelle 4 und der graphischen Darstellung 1 abzuleiten, so treten doch Schwierigkeiten auf, wenn man die Fraktionen einzeln in Abhängigkeit vom Gesamt-Phosphorgehalt betrachtet. Stellt man in gleicher Reihenfolge, wie die Kornmehle in der Abbildung 1 eingezeichnet sind, die Werte der Fraktionen einzeln von der Abszisse aus dar, um einen Überblick zu bekommen, wie sich einzelne Fraktionen mit dem Gesamtphosphor ändern, so erhält man eine Darstellung wie in Abbildung 2. Im großen und ganzen geht auch hier wieder hervor, daß z. B. die Essigsäurefraktion stark ansteigt, daß aber z. B. der Essigsäure-Restphosphor (f) doch nicht ganz kontinuierlich zunimmt, sondern sich kleine Unstimmigkeiten etwa

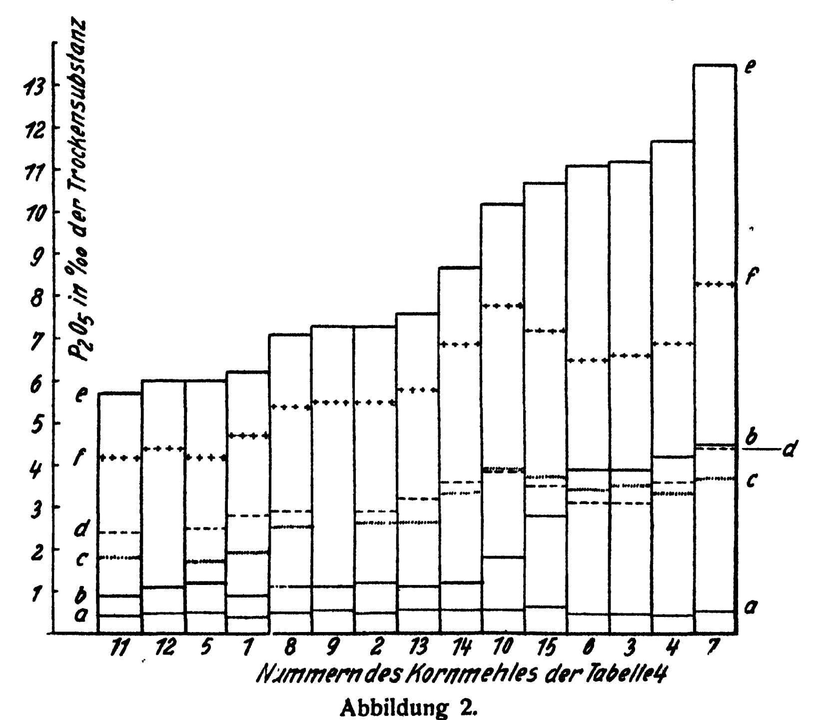


Abbildung 2.

P_2O_5-Fraktionen eines jeden Mehles einzeln von der Abszisse aus dargestellt. Kornmehle nach steigendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt geordnet. (Wegen der Fraktionen a—f und der Kornnummer 1 – 15 vgl. Tabelle 4.)

bei den Mehlen Nr. 15 und 6 ergeben. Hier spielen demnach noch andere Faktoren mit, wie etwa Korngröße oder wechselnder Spelzenanteil. Bei dem untersuchten Hafermehl ist ja nicht nur das Korn allein, sondern mit Spelzen gemahlen worden, die bei den verschiedenen Kornmehlen sicherlich einen verschiedenen, nicht erfaßten Anteil ausmachen, und uns nur die eine Bezugsgröße — das Trockengewicht — bei der Auswertung zur Verfügung steht. Um einen Anhalt zu haben, wie weit die Spelzen Anteil an den Fraktionen haben, sei eine Analyse von entspelztem Korn und den dazugehörenden Spelzen vorausgeschickt. Weiterhin wurde in demselben Versuch noch eine andere Untersuchung eingeschlossen: Die entspelzten Körner wurden ungefähr in der Mitte zerschnitten und die Kornhälften mit und ohne Keim getrennt zermahlen und analysiert, um auf den Anteil schließen zu können, den der Keimling an den Fraktionen ausmacht.

Tabelle 5.

Phosphorsäuregehalt von Spelzen und „Reinkorn“, in Kornhälften mit und ohne Keim aufgeteilt. P_2O_5-Werte in ‰ der Trockensubstanz. Material: Haferkorn, auf Moorboden Steinburg mit Superphosphatdüngung gewachsen. Phyt. = Phytin.)

	Mit Keim	Ohne Keim	Spelzen	Stroh
Alkohollöslich . . .	1,02	0,66	0,19	0,09
Davon chloroformlösl.	0,89	0,59	0,09	0,06
Essigsäurelöslich . .	3,9	3,0	2,6	1,03
Davon Phyt.-P_2O_5 . .	1,9	0,9	0,0	—
„ anorgan. P_2O_5	1,7	1,6	—	—
Salzsäurelöslich . . .	5,7	5,1	0,26	0,26
Rückstand-P_2O_5 . . .	4,2	3,7	0,39	0,58
Summe	14,8	12,5	3,44	1,96
In den verwendeten	2,73 g = 40,4 mg Gesamt-P_2O_5	3,45 g = 43,0 mg Gesamt-P_2O_5	2,11 g Material = 7,26 mg Gesamt-P_2O_5	
In den verwendeten	8,54 g Material = 10,7 ‰ Gesamt-P_2O_5			
In den verwendeten	6,18 g Reinkorn = 83,4 mg Gesamt-P_2O_5 = 91 % der Gesamt-P_2O_5		2,36 g Spelzen = 8,12 mg Gesamt-P_2O_5 = 9 % der Gesamt-P_2O_5	
In den verwendeten	2,73 g = 10,6 mg essigsäurelösliche P_2O_5	3,45 g = 10,4 mg essigsäurelösliche P_2O_5	2,11 g = 5,5 mg essigsäurelösliche P_2O_5	
In den verwendeten	6,18 g Reinkorn = 21,0 mg essigsäurelösliche P_2O_5		2,11 g Spelzen = 5,5 mg essigsäurelösliche P_2O_5 = 21 % der gesamten essigsäurelöslichen P_2O_5	

Von 388 Körnern der Pflanzen, die 1938 auf Moorboden Steinburg mit 2,0 g Superphosphat gewachsen waren und 1,1% Gesamt-P_2O_5 enthielten waren 38 Stück leere Spelzen, die übrigen 350 Körner wurden entspelzt, ungefähr halbiert und lieferten folgende Gewichtsteile an Trockensubstanz:

350 Kornhälften mit Keim	+ 350 Hälften ohne Keim	+ 350 Spelzen	+ 38 leere Spelzen
2,73 g	3,45 g	2,11 g	0,25 g
6,18 g		2,36 g	
8,54 g			

Aus der Tabelle 5 (S. 161) geht hervor, daß die Spelzen in diesen untersuchten Körnern 8,12 mg Gesamt-P_2O_5 – 9% der gesamten Phosphorsäure des ganzen Kornes in sich schließen. Diese 9% gehören in der Hauptsache der Essigsäurefraktion an, bestehen also, worauf noch einzugehen sein wird, aus organischen, essigsäurelöslichen Phosphaten, so daß von der Essigsäurefraktion des gesamten Kornes 21% in den Spelzen lokalisiert sind.

Es ist anzunehmen, daß der Phosphorsäuregehalt der Spelzen in Beziehung steht zu dem in den Versuchsreihen stark wechselnden P-Gehalt des Strohes und daß vielleicht die relativ niederen Werte des Essigsäure-Rest-P (f) der Versuche Nr. 6, 3 und 4 in der Abb. 2 auf folgende Weise eine Erklärung finden: Ihr P-Gehalt im Stroh ist ungewöhnlich hoch, 4—6 mal so hoch wie etwa die benachbart eingezeichneten Versuche Nr. 10, 14 und 15 (wegen der Strohwerte vgl. Tabelle 1 und 2 der oben erwähnten (4) Arbeit). Entsprechend den hohen Strohwerten sind auch die Spelzen P-reicher, d. h. die Essigsäurewerte und die Gesamt-P-Werte dieser Körner liegen unverhältnismäßig hoch, so daß sie in der graphischen Darstellung 2 vielleicht zwischen Versuch 13 und 14 einzuordnen wären, wenn es sich um entspelzte Körner gehandelt hätte.

Diese Erklärung steht natürlich nicht im Einklang mit der Behauptung, daß den Böden und Düngern überhaupt keine spezifische Wirkung zukäme. Ähnlich wie sie (vielleicht ihrer P-Nachlieferungsgeschwindigkeit entsprechend) den P-Gehalt im Korn beeinflussen, der starken Schwankungen unterliegt (vgl. Tab. 1 und 2 der oben erwähnten (4) Arbeit), muß ihnen wohl auch, jedoch innerhalb ganz enger Grenzen, eine Beeinflussung der Fraktionen im Haferkorn eingeräumt werden.

Sicherlich spielt bei der Erforschung der physiologischen Ursachen, die dem Verlauf der Kurve zugrunde liegen, auch die jeweilige Korngröße eine Rolle, die gewöhnlich durch das 1000-Korn-Gewicht charakterisiert wird. Nun ist aber das 1000-Korn-Gewicht gerade bei Hafer sehr schlecht zu diesem Zwecke heranzuziehen, da es neben der Korngröße auch noch vom wechselnden Anteil leerer Spelzen beeinflußt wird. Daß das 1000-Korn-Gewicht ungefähr mit zunehmendem Gesamt-Phosphorsäuregehalt ansteigt, wenn auch meistens nicht in linearer Beziehung, geht aus Tabelle 6 hervor.

Daß der Phosphatidphosphor, der, mit den im Kapitel Methodik gemachten Einschränkungen, durch die Alkoholextraktion und Chloroformnachbehandlung des Extraktes bestimmt wurde, bei allen Mehlen gleich bleibt, konnte insofern nicht verwundern, als ja Phosphatide an die plasmareichen Zellen, also vornehmlich, wie es bekannt ist und aus der Tabelle 5 hervorgeht, an die Zellen des Keimlings gebunden ist, die einen mehr oder weniger gleichen Teil der Kornsubstanz einnehmen. Wenn wir von der geringen Variation, die durch Berücksichtigung der Korngröße etwa erklärbar wäre, absehen, so lassen die Untersuchungen den Schluß zu, daß die Phosphatide, obwohl sie bei der Keimung am Licht z. B. schnell neugebildet werden können, durch stärkere Phosphorsäure-

Tabelle 6.

Tausendkorngewicht nicht entspelzter Haferkörner auf Moorboden Steinburg mit verschiedener Phosphorsäuredüngung gewachsen und verschiedenem Gesamt-P-Gehalt.

Gefäß Nr.	P_2O_5-Art (gegeben je Gefäß)	Menge Gesamt-P_2O_5 in g (gegeben je Gefäß)	Kornertrag in g	Tausendkorngewicht in g	Gesamt-P_2O_5-Gehalt in ‰
280/2	ohne	—	3,7	18,6	7,5
283/5	Réno	0,5	7,2	18,5	8,5
286/8	Réno	1,0	11,6	19,5	8,4
289/1	Réno	2,0	26,7	23,9	8,8
310/2	Thomasmehl	0,5	22,1	21,8	8,6
313/5	Thomasmehl	1,0	33,0	23,3	8,3
316/8	Thomasmehl	2,0	35,9	27,6	10,9
319/1	Superphos.	0,5	20,3	19,2	8,9
322/4	Superphos.	1,0	31,2	19,0	7,8
325/7	Superphos.	2,0	32,8	20,7	10,8

düngung prozentual je Trockengewicht nicht wesentlich vermehrt werden; extrem ausgedruckt, daß also keine Produktion über das normale Maß, also keine Luxusproduktion an Phosphatiden im Korn durch gesteigerte Phosphorsäuredüngung einsetzt, sondern daß eine Steigerung der Phosphatidproduktion lediglich durch Vermehrung der Erntesubstanz erreichbar ist. Es soll dahingestellt bleiben, ob diese geringe Variationsbreite, wie sie bei dem Phosphatid-P gefunden wurde, eine allgemeinere Erscheinung ist und allen den Stoffen zukommt, die nicht eigentlich Reservestoffe, sondern mehr oder weniger zu den aktiven Plasmabau- und Betriebsstoffen zu rechnen sind, deren Vermehrung sich erst bei Zellvermehrung durch Keimung aus den vorhandenen Baustoffen vollzieht. — So streng die Pflanze den Phosphatidgehalt im Samen in engen Grenzen hält, ebenso streng scheint sie bei der Keimung seine Vermehrung selbst bei nährstofffreier Sandkultur einzuhalten, wie es Stoklasa (20) 1890 an Rüben beobachtete.

Eine Entscheidung, welche Stoffe der nächsten Fraktion, dem alkohollöslichen, aber nicht chloroformgelösten Phosphor angehören, ist schwierig. Es wird vielleicht Phosphorsäure daran beteiligt sein, die durch das wasserhaltige Extraktionsmittel in Lösung gegangen sein wird, weiterhin solche, die im Laufe der Analyse, beim Abdestillieren des Alkohols etwa aus den Phosphatiden abgespalten worden ist, wie es schon Schulze u. Steiger (7) annahmen. Da diese Fraktion aber nur einen unerheblichen, vor allem aber bei allen Mehlen durchweg annähernd gleichen Teil ausmacht, wurde ihm in dieser Arbeit keine besondere Bedeutung bei der Ermittlung des Düngungseinflusses beigemessen, als daß sie zur Erfassung einer vollständigen Bilanz erforderlich war.

Der starke Anstieg essigsäurelöslichen P_2O_5-Anteiles ist nun zweifellos nicht indirekt über das Tausendkorngewicht erklärbar,

sondern als Folge der gesteigerten Phosphorsäureablagerung in den Körnern anzusehen. Das Ansteigen der essigsäurelöslichen Phosphorsäure ist also maßgeblich am Anstieg der Gesamt-Phosphorsäure beteiligt.

Zu einer regelmäßigen Trennung dieser Fraktion in anorganisch und organisch gebundene Phosphorsäure in Form der P-Ester und zur Gewinnung genauer Analysen war die zur Verfügung stehende Menge leider meist zu gering. Es wurden deshalb nur einige Trennungen durchgeführt, deren Ergebnisse in der Tabelle 7

Tabelle 7.

Ergebnis einiger orientierender Bestimmungen des Phytins durch Fällung mit Kupfer nach Rippel und des anorganisch gebundenen Phosphors nach Embden, beide aus der essigsäurelöslichen Fraktion. Werte in ‰ der Trockensubstanz, nach steigendem Gehalt an essigsäurelöslichem Gesamt-P_2O_5 geordnet.

Korn Nr.	Essigsäurelösliche P_2O_5	P_2O_5 in Kupferfällung	Anorganische P_2O_5
280—2	1,1	0,07	1,1
289—1	1,2	0,12	1,0
89—2	1,2	0,13	—
149—2	1,7	0,25	—
125—8	1,8	0,2	—
316—8	2,8	0,6	1,9
93—6	3,9	1,1	3,0
41—4	3,9	1,2	—
85—8	4,2	0,9	—
Spelzen	2,6	0,0	—
Kornhälfte mit Keim	3,9	1,9	1,7
Kornhälfte o. Keim	3,0	0,9	1,6

zusammengestellt sind. Aus der Tabelle 7 geht doch immerhin hervor, daß am Ansteigen der essigsäurelöslichen Phosphorsäure beide Stoffgruppen, die anorganischen Phosphate wie auch der organisch gebundene, beteiligt sind, wenn auch der anorganische Phosphor in jedem Falle die Hauptmenge dieser Fraktion darstellt. Die anorganische Phosphorsäure verteilt sich auf Spelzen, deren Gesamt-P_2O_5 dieser Fraktion natürlich angehört, und aber auch auf das reine Korn, wo sie in den Kornhälften mit und ohne Keim annähernd in gleichen Mengen vorhanden ist, sich also mehr oder weniger gleichmäßig auf das ganze Korn verteilt, vielleicht in der Kornschale abgelagert ist.

Das Phytin, oder allgemeiner ausgedrückt, die durch Kupfer und nicht nach Embden fällbare Phosphorsäure im Essigsäureauszug steigt ebenfalls mit Zunahme des Gesamt-P_2O_5 stark an. In dem phosphorsäurearmen Kornmehl wäre demnach, nach Rippel mit 1% Essigsäure extrahiert, seine Menge allerdings gering.

Daß die Summe von organischem und dem durch Kupfer gefällten Phytin nicht genau die ermittelte Gesamt-P_2O_5-Menge ausmacht, wird seinen Grund einmal in der geringen Materialmenge haben, die zu genauer Bestimmung

nicht ausreichte. Zum anderen weist Rippel darauf hin, daß durch Kupfer nur ein Phytin-anteil gefällt wird, die wahre Phytinmenge in manchen Fällen größer sein dürfte. Dafür soll die anschließende Fällung nach Embden genauere Werte liefern, da die Hauptmenge des Phytins bereits ausgefällt ist.

Wegen der geschilderten Unsicherheiten wurde von einer regelmäßigen Trennung der beiden Stoffgruppen Abstand genommen, zumal die Bedeutung dieser beiden Körper weder für die Pflanze noch für das Tier ausreichend geklärt sind und Spaltung, vielleicht auch Aufbau der Ester aus den Bausteinen, enzymatisch keine Schwierigkeiten bieten (vgl. Weißflog und Mengdehl (21).

Die Abgegrenztheit dieser Essigsäurefraktion wurde, wie schon im Kapitel Methodik betont, dadurch als begründet angesehen, daß wiederholte Extraktionen keine weiteren nennenswerten P_2O_5-Mengen in Lösung bringen und fast die Gesamtmenge an Kalzium, Magnesium und wahrscheinlich auch Kalium, das allerdings nicht mit bestimmt wurde, in sich schließt. Dieser Fraktion stehen die beiden anderen gegenüber, nämlich der an den Essigsäureauszug anschließende Salzsäureextrakt und der dann verbleibende Rückstand-P_2O_5. Betrachten wir zunächst diese beiden Fraktionen als Ganzes, da deren Trennung wohl kaum mit einer solchen in bestimmte Stoffgruppen Hand in Hand geht, wie es schon unter „Methodik“ eingehend erörtert worden ist. Dieser Essigsäure-Rest-P (Fraktion $f = c + d$ der Tabelle 4 und der Abbildung 1 u. 2), steigt ebenfalls erheblich an, und zwar schon bei geringer Zunahme bei den phosphorsäurearmen Mehlen, wo gerade die Kurve, die die essigsäurelösliche P_2O_5 darstellt, noch nicht ansteigt. Man könnte geneigt sein, die Verhältnisse damit zu erklären, daß eine Phosphorsäure-Mangelpflanze bei geringer P_2O_5-Gabe zuerst die für sie wichtigere Fraktion, den Eiweißphosphor etwa, vermehrt und nicht die Essigsäurefraktion.

Ein solcher Schluß auf die Physiologie ist aber aus den vorliegenden Werten noch nicht berechtigt und auch nicht unbedingt notwendig, wenn man in Rechnung zieht, daß bei den P-ärmsten Körnern mehr leere Spelzen am Mehl beteiligt sein werden, die ihrerseits die Essigsäurefraktion vermehren und den Essigsäurerest-P scheinbar erniedrigen, und daß ferner die für physiologische Betrachtungen wichtige Korngröße bzw. das 1000-Korngewicht als Bezugsgröße wegen der oben angedeuteten Schwierigkeiten bei Hafer unberücksichtigt blieb.

Bevor im Zusammenhang mit den Eiweißbestimmungen auf die Nucleid-Phosphorsäure eingegangen werden soll, seien einige Betrachtungen über Stärke-P_2O_5 vorausgeschickt. Es war bereits bei der Beschreibung der Methodik erwähnt, was darunter verstanden werden soll. P_2O_5-Analysen der veraschten Stärke ergaben (Tab. 8), daß solche, die aus phosphorsäurereicheren Körnern isoliert worden war, um einen geringen Betrag auch phosphorsäurereicher war als die aus phosphorsäureärmeren Mehlen stammende. Durch Behandlung mit Pepsin-Salzsäure ändert sich der P_2O_5-Gehalt der isolierten Stärke nicht.

Es erscheint aber verfrüht, aus diesem Befunde weitere Schlüsse ziehen zu wollen, bevor eine völlige Reinheit der Stärke von Spuren anhaftender Plastidenreste gesichert ist und auch Wasser- sowie übriger Aschengehalt, der in verschiedenen Stärken beträchtliche Unterschiede aufweisen kann (22), in die Untersuchungen mit einbezogen worden sind. — Ein Vergleich mit Kartoffel-

Tabelle 8.

P_2O_5-Gehalt der Stärke, aus Haferkorn mit verschiedenem Gesamt-P-Gehalt isoliert, nach steigendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt geordnet.

Haferkorn Nr.	141/5	117/4	69/2	97/00
Gesamt P_2O_5-Gehalt .	5,9	6,9	11,4	12,2
P_2O_5-Gehalt der Stärke in ‰	1,4(8)	1,4(4)	1,6(8)	1,6(6)
Derselbe nach Pepsin-HCl-Behandlung . .	1,4(3)	—	1,6(9)	—

stärke, deren P_2O_5-Gehalt zwar schon — z. B. in Abhängigkeit von verschiedener Größe der Stärkekörner — untersucht worden ist (22—25), scheint nicht am Platze zu sein, da die zusammengesetzten Stärkekörner des Hafers eine kompliziertere Gestalt mit schwer bestimmbarer Größe aufweisen und die Größe der Stärkekörner bei Phosphorsäureuntersuchungen nach den Erfahrungen bei Kartoffelstärke stets in die Betrachtung mit einbezogen werden müßten. — Diese Untersuchungen sollten nur orientierender Art sein. Zum näheren Studium der Stärke und deren Beeinflussung durch Düngung müßte nicht Hafer sondern ein anderes Objekt gewählt werden. Außerdem müßte die Isolierungsmethode eine gleichmäßige Gewinnung aller Größenklassen der Stärkekörner gewährleisten.

Diese Untersuchungen lassen aber immerhin einen Schluß auf den Anteil der Stärke-Phosphorsäure am gesamten von uns bestimmten Rückstandphosphor zu. Rechnet man mit einem Stärkegehalt von 60% der Trockensubstanz, eine Menge, die sicherlich nicht zu hoch ist, da der Spelzenanteil allein schon etwa 28% beträgt, so errechnet sich der P_2O_5-Anteil der Stärke mit 0,9—1,0‰ der Trockensubstanz, so daß immer noch 2—3‰ für die übrige Nuclein-Phosphorsäure bleiben.

Wenn nun die Stärke verschiedener Mehle auch diese geringen Unterschiede im Phosphorsäuregehalt aufweist, so genügen diese aber keinesfalls zur Erklärung des relativ starken Anstiegs der Rückstand-P_2O_5-Fraktion. Hierbei wird auch der Nuclein-Phosphor maßgeblich beteiligt sein.

Tabelle 9.

Stickstoffgehalt des Haferkorns im Vergleich zu den Phosphorsäure-Fraktionen, nach steigendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt geordnet.
Gehalt in ‰ der Trockensubstanz.

		a.	b.	c.			
Vers.-Nr.	Korn Nr.	Gesamt-P_2O_5	Salzsäure-lösliche P_2O_5	Rückstand P_2O_5	Summe b + c P_2O_5	Eiweiß N	Lösliches N
1.	137—40	5,7	1,8	2,4	4,2	26	2,8
2.	5—8	6,2	1,9	2,8	4,7	30	3
3.	117—20	7,3	5,5		5,5	31	3
4.	9—12	7,3	2,6	2,9	5,5	27	3
5.	289—92	8,7	3,3	3,6	6,9	24,2	2,4
6.	316—18	10,7	3,7	3,5	7,2	21,2	1,8
7.	41—44	11,2	3,5	3,1	6,6	18,2	3,0
8.	85—88	11,7	3,3	3,6	6,9	22,2	2,3
9.	101—04	13,5	3,9	4,4	8,3	30,7	3

Der Nuclein-Phosphor ist aufzufassen als ein Baustoff des Eiweißes wie etwa auch der Stickstoff. Ein Vergleich zwischen den Werten des Eiweiß-N und des Nuclein-P geht aus der Tabelle 9 hervor. In den Versuchen Nr. 1—8 sind die Kornmehle nach steigendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt geordnet. In ähnlichem Sinne steigen auch die Werte der Spalten „Salzsäurelösl.“ und „Rückstand-P_2O_5“. Demnach dürfte die Annahme berechtigt erscheinen, daß die Nuclein-Phosphorsäure ebenfalls gleichsinnig ansteigt. Die Werte des Eiweiß-N dagegen schwanken, und zwar nicht gerade regelmäßig, aber doch so, daß meistens den größeren P-Werten kleinere Eiweiß-N-Werte entsprechen. Das P : N-Verhältnis des Eiweißes wäre demnach in P-reicheren Mehlen größer als in P-armen, die qualitative Zusammensetzung des Eiweißes also eine verschiedene, ein Hinweis dafür, daß auch die Qualität des Eiweißes durch Düngung Unterschiede erfahren kann und daß die Bestimmung des Gesamteiweißes durch die Menge an fällbarem Stickstoff zur Bewertung keineswegs genügt, sondern die Baustoffe bzw. Abbauprodukte zur Charakterisierung herangezogen werden müssen, wie es von Alten und Mitarbeitern (3) begonnen wurde.

Die tiefere Ursache für diese Verschiedenheit wird als Folge des Vorherrschens verschiedener Eiweißarten anzusehen sein. Während der Stickstoff in allen Eiweißarten einen fast gleichen prozentualen Anteil hat, ist das beim Phosphor nicht der Fall. Ein wechselndes Gemisch von P-führenden und P-freien Eiweißarten bringt einen verschiedenen P_2O_5-Gehalt des Gesamt-Eiweißes zustande. Aus diesem Grunde ist eine Parallelität zwischen dem Gehalt an Nuclein-P_2O_5 und dem an Eiweiß-N nicht notwendig.

Daß diese Parallelität zwischen P und N im Eiweiß auch tatsächlich nicht vorhanden ist, scheint ein Hinweis dafür zu sein, daß N- und P-Stoffwechsel mehr oder weniger unabhängig voneinander ablaufen. Nicht die vorhandene Eiweißmenge bestimmt die Menge des Nucleoproteidphosphors, sondern auch für diese Fraktion scheint nur die Gesamt-P_2O_5-Menge im Korn maßgeblich zu sein, wie es das parallele Ansteigen des Nuclein-Phosphors mit dem Gesamt-Phosphor unabhängig vom jeweiligen Eiweißgehalt in der Tabelle 9 zeigt.

Die Sonderstellung des Mehles Nr. 101—104 in Versuch Nr. 9 der Tabelle 9 ist vermutlich auf einen von den anderen Mehlen abweichenden Reifezustand zurückzuführen. Das Korn ist infolge ungünstig sauren Standortes in der Reife zurückgeblieben und nicht ganz ausgereift geerntet. Durch weitere Kohlehydrateinwanderung wären zweifellos die hohen Eiweiß-N und Nuclein-P_2O_5-Werte relativ vermindert und den Werten der anderen reifen Körner angeglichen worden. Fraglich ist nur, in welchem Maße beide Werte mit zunehmender Reife vermindert werden, ob also auch dem Reifegrad ein Einfluß auf qualitative Zusammensetzung des Eiweißes, etwa sein P : N-Verhältnis, zukommt. — Eine genaue Erfassung des Phosphorsäure-Stoffwechsels als Funktion zeitlicher Veränderungen während des Reifeprozesses, insbesondere die dazu notwendige Trennung des Nucleid-P vom Stärke-P war aber nicht das Ziel dieser ersten orientierenden Arbeit, sondern soll einer späteren vorbehalten bleiben. Zum Studium solcher genauen Erfassung physiologischer Zusammenhänge in einem Korn wäre auch das Trockengewicht allein als Bezugsgröße nicht hinreichend, sondern das 1000-Korngewicht erforderlich, um zu erforschen, was in einem durchschnittlichen Korn vor sich geht.

Untersuchungen an Spinat.

Im Anschluß an die Untersuchungen der Haferkörner wurde die für sie ausgearbeitete Phosphorsäurefraktionierung auch auf einige wenige Spinatproben angewendet, die ebenfalls einer Phosphorsäuredüngungsreihe auf Mitscherlich-Gefäßen entstammten und stark unterschiedlichen Gesamt-P_2O_5-Gehalt aufwiesen. Es handelt sich um bei 105° C getrocknete, gemahlene oberirdische Teile der Pflanzen, die dem gleichen Analysengang — wie auf Seite 156 angegeben — unterworfen wurden. Leider reichte die Menge des zur Verfügung stehenden Materials nicht dazu aus, die Brauchbarkeit der Methode für diese Zwecke nachzuprüfen. Die Werte, die in der Tabelle 10 zusammengestellt sind, sollen deshalb nur kurz gestreift werden und als Ergänzung der bei Haferkorn erhaltenen Ergebnisse dienen.

Tabelle 10.

Winterspinat auf Mitscherlich-Gefäßen. Werte bezogen auf Trockensubstanz.

Bodenart	Zeestow	Zeestow	Sand + Torf
P_2O_5-Düngung	Ohne P_2O_5	Superphos.	Rhenania
Ertrag (Trockensubstanz)	7,4 g	11,7 g	11,0 g
Alkohollösliche P_2O_5	0,8 ‰	1,5 ‰	1,1 ‰
Davon chloroformlöslich	(0,7) „	(1,2) „	(0,9) „
Essigsäurelösliche P_2O_5	3,1 „	5,5 „	13,0 „
Salzsäurelösliche P_2O_5	0,3 „	0,6 „	0,9 „
Rückstand-P_2O_5	1,1 „	2,0 „	3,6 „
Summe der P_2O_5	5,3 „	9,6 „	18,6 „
Anorganische P_2O_5 (nach Embden fällbar)	2,8 „	4,8 „	—
Eiweiß-N	3.8 ‰	3.5 ‰	3.3 ‰

Wie beim Haferkorn ist es die essigsäurelösliche Phosphorfraktion, die die Verschiedenheit im Gesamt-P_2O_5-Gehalt bestimmt. Fast die gesamte Phosphorsäure dieser Fraktion ist nach Embden fällbar, stellt also organisch gebundenen Phosphor dar. Damit stimmten diese Versuchsergebnisse mit denen von Weißflog und Mengdehl (21) überein, die an grünen Maispflanzen ebenfalls fanden, daß der Orthophosphat-Phosphor den größten Schwankungen unterliegt.

Rückstand- und HCl-lösliche Phosphorsäure steigen beide gleichmäßig mit zunehmendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt an. Es ist anzunehmen, daß ihre Hauptmenge aus Nuclein-Phosphorsäure besteht, deren Menge wiederum wie beim Haferkorn vom Gesamt-P_2O_5-Gehalt bestimmt wird, unabhängig etwa vom Eiweiß-N-Gehalt. Denn der Eiweiß-N-Gehalt nimmt gerade in entgegengesetzter Richtung zu.

Auffällig ist aber gegenüber den Ergebnissen an Haferkorn die relative Schwankung in der Höhe des chloroformlöslichen Phosphors, den wir als Phosphatid-Phosphorsäure angesprochen hatten.

Diese Schwankungen gehen mit dem Gesamt-P_2O_5-Gehalt nicht konform, müssen also von anderen Faktoren als nur vom Gesamt-P_2O_5-Gehalt bestimmt werden. Sie mögen ihre Ursache in Unterschieden in der Zellenzahl oder etwa im Entwicklungszustand des analysierten Materials haben, und das sind Faktoren, die bei diesem Material wesentlich unterschiedlicher sind als bei den Haferkörnern, und die einen größeren Einfluß auf die Ausbildung dieser Fraktion auszuüben scheinen, als es dem Gesamt-P_2O_5-Gehalt zukommt.

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen an Haferkorn können wir also feststellen, daß essigsäure-, salzsäurelösliche und Rückstand-Phosphorsäure im wesentlichen sich gleichsinnig mit dem Gesamt-P_2O_5-Gehalt verändern, während die Menge der chloroformlöslichen Phosphorsäure im Korn annähernd gleich, im Spinat schwankend ist, sich jedenfalls vom Gesamt-P_2O_5-Gehalt als mehr oder weniger unabhängig erweist und von anderen Faktoren bestimmt werden wird, wie vielleicht vom Entwicklungszustand, von der Blattgröße und anderen ähnlichen Faktoren, die in einer späteren Arbeit näher untersucht werden sollen.

Über den ernährungsphysiologischen Wert der einzelnen phosphorsäurehaltigen Stoffgruppen und die durch Düngung evtl. erreichte Wertveränderung können wir vorerst noch kein entgültiges Urteil fällen.

Nach Untersuchungen von Haurowitz (26) und Röhmann (21) sind Tiere mit anorganischen Phosphaten als einziger Phosphorquelle am Leben erhalten und zur Fortpflanzung gebracht worden, so daß die untersuchten Tiere anscheinend irgendwelche organischen phosphorsäurehaltigen Körper gar nicht bedürfen und man von einem besonderen Wert einer hier genannten Phosphorfraktion kaum sprechen kann, ja, daß vielleicht eine übermäßige Zufuhr von Nucleinsäure-Phosphor wegen des mit ihm im pflanzlichen Eiweiß stets gekoppelten hohen Puringehaltes eher als schädlich angesehen werden könnte. Andererseits bliebe ja aber noch immer, auch wenn z. B. die Ernährung mit anorganischem Phosphat als einziger Phosphorquelle sichergestellt wäre, die Frage übrig, ob nicht doch Phosphatide oder andere organische Verbindungen den anorganischen Phosphaten bei der Resorption etwas überlegen wären.

Solche Fragen, die immer noch eine wichtige Problematik darstellen, gehen aber über den Rahmen dieser Arbeit hinaus, denn sie sollte lediglich einen kleinen experimentellen Beitrag an dem großen Aufgabengebiet der Landwirtschaftschemie liefern, die Veränderungen der qualitativen Zusammensetzung und die Variationsbreite einiger weniger phosphorsäurehaltiger Stoffgruppen in Abhängigkeit von verschiedener Düngung zu ermitteln. Das Ergebnis war, daß eine durch erhöhte Phosphorsäureaufnahme bedingte Vermehrung des Gesamt-Phosphorsäuregehaltes von nicht entspelztem Haferkorn in erster Linie durch eine Erhöhung des anorganischen Phosphors verursacht wird, daß aber auch andere Phosphorsäurefraktionen, die dem Phytin- und Nucleoproteid-Phosphor angehören dürften, in geringerem Grade vermehrt worden sind. Der alkohollösliche Phosphor erweist sich von der Gesamt-Phosphorsäuremenge im Haferkorn unabhängig und schwankt nur in-

nerhalb ganz enger Grenzen. Im grünen Spinat dagegen haben die Analysen Schwankungen ergeben, die das Ziel einer weiteren Untersuchung sein sollen.

Fräulein L. Heidecker danke ich für die mit Interesse ausgeführte Hilfe bei den Analysen.

Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse.

1. Es wurde an Haferkörnern eine Methodik ausgearbeitet, um deren Gesamt-P_2O_5-Gehalt in Fraktionen aufzuteilen, die nach Möglichkeit bestimmten phosphorsäurehaltigen Stoffgruppen entsprechen. Das Material, dessen Phosphorsäuregehalt starken Schwankungen unterlag, entstammt Gefäßversuchen mit verschiedener Phosphorsäuredüngung und verschiedenen Böden.

2. An Fraktionen wurden unterschieden und in demselben Material nacheinander bestimmt:

a) alkohollösliche Phosphorsäure, die fast in ihrer gesamten Menge auch chloroformlöslich war,

b) essigsäurelösliche Fraktion, die neben Phosphorsäure fast die gesamte Menge an Kalzium und Magnesium enthielt und deren Phosphorsäure in einigen Fällen in anorganische und organisch gebundene aufgeteilt wurde.

c) salzsäurelösliche P_2O_5,

d) Rückstand-Phosphorsäure.

Diese Fraktionierung wurde an Haferkörnern ausgearbeitet und gleichzeitig bei der Aufarbeitung von Spinatblättern angewendet. Die vermutliche Übereinstimmung der erhaltenen Fraktionen mit bestimmten phosphorsäurehaltigen Stoffgruppen wurde erläutert.

3. Der prozentuale Gehalt an alkohollöslicher Phosphorsäure ist im Haferkorn ziemlich konstant und unabhängig vom Gesamt-P_2O_5-Gehalt. Der Keimling ist besonders reich daran. In Spinatblättern wurden dagegen erhebliche Unterschiede im Gehalt an dieser Fraktion gefunden. Diese Fraktion dürfte mit Vorbehalt dem Phosphatid-Phosphor zuzurechnen sein.

Der essigsäurelösliche Phosphor ist diejenige Fraktion, die sowohl bei Haferkorn wie auch bei Spinat den stärksten Schwankungen unterliegt. Sie steigt mit zunehmendem Gesamt-P_2O_5-Gehalt der Mehle.

Die salzsäurelösliche und die Rückstand-Phosphorsäure sind in phosphorsäurereicherem Material ebenfalls vermehrt gegenüber einem Material, das an Gesamt-Phosphorsäure ärmer war. Diese Schwankungen liegen aber in weit engeren Grenzen als die der essigsäurelöslichen Phosphorsäurefraktion. An den beiden Fraktionen dürfte die Nucleoproteid-Phosphorsäure maßgeblich beteiligt sein.

Schrifttum.

1. Giesecke, F.: Zur Frage der Qualitätsprüfungen an landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzpflanzen. Erg. d. Agrikulturchemie, Berlin, 4, 1935, 189.

1a. Schuphan, W.: Der gegenwärtige Qualitätsbegriff bei Gemüsen und die

Notwendigkeit seiner Erweiterung auf chemisch erfaßbare Wertmerkmale. Forschungsdienst, Berlin, 3, 1937, 290—303.
2. Stepp, W., u. H. Schröder: Über den Antagonismus der Vitamine und seine Bedeutung für die Vitamintherapie. Klin. Wschr., Berlin, **15**, 1936, 548.
3. Alten, F., E. Rauterberg u. E. Knippenberg: Die Bestimmung verschiedener Stickstoff-Fraktionen in der Pflanze unter besonderer Berücksichtigung des α-Aminosäure-Stickstoffs. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **8**, 1938, 335.
4. Giesecke, F., u. G. Michael: Über Gefäßversuche zur Ermittlung der Ausnutzung einiger neuer Phosphorsäuredüngemittel. Ebenda. **14**, 70—82.
5. Blair, A. W. u. A. L. Prince: The influence of phosphates on the phosphoric acid content of plant. J. Agr. Res., Washington, **44**, 1932, 579.
6. Pierre, J.: Recherches sur l'accumulation progressive de l'amidon dans le grain de Blé a diverses époques de son développement. Ann. Sc. nat. Sér. V. T. 20, 202. Ref. aus Bot. Ztg., **33**, 1875, 767.
7. Schulze, E., u. E. Steiger: Über den Lecithingehalt der Pflanzensamen. Z. physiol. Chem., Berlin u. Leipzig, **13**, 1889, 365.
8. Klein, G.: Handbuch der Pflanzenanalyse, 1932, II, 1, 688.
9. Winterstein, E., in Abderhald. Handb. biolog. Arb. meth. I, Teil 6, 129.
10. Giesecke, F., G. Michael u. L. Schulte: Zur kolorimetrischen Bestimmung der Phosphorsäure in Pflanzenaschen mit Hilfe des Photozellenkolorimeters nach Lange. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **7**, 1938, 171.
11. Nach F. Czapek, Biochemie der Pflanzen, 1922, I, 765.
12. Rippel, A.: Über eine quantitative Bestimmung des Phytins in Pflanzenauszügen. Biochem. Z., **103**, Berlin, 1920, 163.
13. Heubner, W., u. H. Stadler: Titrationsmethode zur Bestimmung des Phytins. Ebenda, **64**, 1914, 422.
14. Kostychew, S., u. V. Berg: Die Form der Kalziumverbindungen in lebendem Pflanzengewebe. Planta, Berlin, **8**, 1929, 55.
15. Yamagava: J. Biol. Chem., Baltimore, **43**, 1920, 339. Aus Klein, Handbuch der Pflanzenanalyse, **4**, 418.
16. Alten, F., H. Weiland u. B. Kurmies: Kolorimetrische Magnesiumbestimmung. Angew. Chem., Berlin, **46**, 1933, 697.
17. Embden, G.: Eine gravimetrische Bestimmungsmethode für kleine Phosphorsäuremengen. Z. physiol. Chem., Berlin u Leipzig, **113**, 1921, 138.
18. Amthor, C.: Über das Nuclein der Weinkerne. Reifestudien an Weinkernen. Z. physiol. Chem., **9**, 1885, 138.
19. Northrop, J. C., u. J. M. Nelson. J. Amer. Soc., **38**, 1916, 472. Aus Machs Jahresber. 1916, 191.
19a. Lindet, L.: Über die Stärkebestimmung in Getreidekörnern. Journ. Pharm. Chim., Paris, 1901. Aus Machs Jahresber., 1902, 513.
20. Stoklasa, J.: Sitz. ber. Wien. Ak., **104**, I, 1896. Aus: Czapek, Biochemie der Pflanzen, 1922, I, 776.
21. Weißflog, J. u., H. Mengdehl: Studien zum Phosphorsäurestoffwechsel in höheren Pflanzen. Planta, Berlin, **19**, 1933, 154.
22. Kavcic, J.: Studien über Pflanzenkolloide. Über Kartoffelstärke aus verschiedenen Varietäten von solanum tuberosum. Kolloidchem. Beih., Dresden u. Leipzig. **30**, 1930, 406.
23. Bredemann, G., u. O. Nerling: Über den Einfluß verschiedener Kalisalze auf die Zusammensetzung der Stärke in der Kartoffel nach Korngrößen. Ernähr. d. Pflanze, Berlin, **26**, 1930, 375, und
Nehring, O.: Über die quantitative Bestimmung der Korngrößen der Kartoffelstärke. Wiss. Arch. f. Landw., Abt. A, Pflanzenbau, Berlin, 3, 1930, 268.
24. Fernbach, A.: Einige Beobachtungen über die Zusammensetzung der Kartoffelstärke. Comt. rend. Aead. Sci., **138**, 1904, 428. Ref. Bied. Zentralbl., 1904, 861.
25. Alsberg, C. L.: Verhalten von Phosphor im Stärkekorn. Proc. Soc. exp. Biol. Med., **36**, 1937, 127; Calif. Univ. Ref. Chem. Zbl., **109**, II, 1938, 1431.
26. Haurowitz, F.: Biochemie des Menschen und der Tiere seit 1914. Dresden u. Leipzig, 1925, 116.
27. Röhmann, F.: Biochemie, Berlin 1908, 109.

Untersuchungen über die Entwicklung und die Nährstoffaufnahme des Leins*).

Von **K. Opitz.**

Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Berlin.

Eingegangen: 1. April 1939.

Nach den bisher von deutschen Autoren angeführten Daten (1) schwanken die von einer guten Leinernte (56 dz/ha Stroh + Korn + Spreu) dem Boden entzogenen Nährstoffmengen je nach den Vorbedingungen

für Stickstoff zwischen . . . 44—65 kg/ha,
für Phosphorsäure zwischen . 29—40 kg/ha,
für Kali zwischen . . . . . 55—60 kg/ha,
für Kalk zwischen . . . . 35—50 kg/ha.

Weit größer war der Nährstoffbedarf des Leins nach Untersuchungen, die, wie Becker-Dillingen berichtet (2), von Garola in Spanien ausgeführt wurden, nämlich 121 kg N, 69,2 kg P_2O_5, 86,1 kg K_2O, 102,9 kg CaO.

Bei neueren, im Rahmen des Forschungsdienstes durchgeführten Versuchen wurden ermittelt:

am Pflanzenbau-Institut in Bonn:
75,7 kg N, 32,1 kg P_2O_5, 114,8 kg K_2O, 71,9 kg CaO,

am Pflanzenbau-Institut in Dahlem:
für Faserlein 1935: 62,2 kg N, 23,8 kg P_2O_5, 53,4 kg K_2O, 44,9 kg CaO,
für Öllein 1935: 68,3 kg N, 28,2 kg P_2O_5, 65,2 kg K_2O, 80,2 kg CaO,
für Faserlein 1937: 64,2 kg N, 21,1 kg P_2O_5, 58,1 kg K_2O, 61,9 kg CaO.

Sämtliche Werte sind auf den oben angeführten Gesamtertrag von 56 dz/ha umgerechnet.

Die oben im Kleindruck angegebenen Zahlen sind nur bedingt vergleichbar, weil:

1. aus den Unterlagen nicht sicher zu ermitteln ist, ob sie sich auf lufttrockene oder wasserfreie Substanz beziehen. Lediglich betreffs der für Bonn und Dahlem angeführten Zahlen ist uns bekannt, daß letzteres zutrifft;

2. bei der Umrechnung der Nährstoffmengen auf einen einheitlichen Ertrag von der keineswegs sicheren Annahme ausgegangen wird, daß der prozentische Nährstoffgehalt unabhängig vom Substanzertrage konstant ist.

Trotzdem ergibt sich aus den vorliegenden Zahlen mit hinreichender Sicherheit die Bestätigung eines nur mittleren Nährstoffbedarfs des Leins, der etwa demjenigen einer mittleren Getreideernte entspricht. Aus dem Rahmen fallen nur die Entzugszahlen des in Spanien, also unter völlig andersartigen Verhältnissen, ausgeführten Versuches, sowie die im milden, feuchten Klima und auf dem fruchtbaren, reich gedüngten Boden des Bonner Versuchsfeldes ermittelten Ergebnisse. Die in verschiedenen Jahren und bei verschiedenen Sorten unter weniger günstigen Verhältnissen gefundenen Dahlemer Zahlen stimmen, abgesehen vom

*) Aus der Reichsarbeitsgemeinschaft „Landwirtschaftliche Chemie", Arbeitskreis II 5a, „Einfluß der Düngung auf die Qualität der Faserpflanzen"

Kalk, bezüglich dessen sortenspezifische Unterschiede vorzuliegen scheinen, untereinander gut überein und entsprechen in der Größenordnung den älteren deutschen Daten von Stutzer, Kuhnert u. a. (3).

Als ein beachtenswerter Fortschritt für die damalige Düngerlehre wird es wohl noch heute betrachtet, daß G. Liebscher (4) 1885 auf die Bedeutung des zeitlichen Verlaufs der Nährstoffaufnahme hinwies und mit Hilfe der bis dahin von verschiedenen Seiten durchgeführten Untersuchungen den Beweis des artspezifischen Verhaltens der Kulturpflanzen und des verschiedenen Verlaufs der Aufnahme der einzelnen Nährstoffe bei ein und derselben Art erbrachte. Für den Lein stand allerdings nur ein recht spärliches Material in Gestalt eines von Bretschneider und Küllenberg ausgeführten Versuches zur Verfügung, aus dessen Verarbeitung Liebscher auf einen starken Bedarf der Leinpflanzen an leicht löslichen, in der Ackerkrume gut verteilten Nährstoffen, namentlich an Stickstoff und Kali schließen konnte. Seit Liebscher ist die Frage des Nährstoffaufnahmeverlaufs mehrfach von deutschen Autoren, so u. a. von H. Wilfarth und Mitarbeitern (5), Pfeiffer und Rippel (6) und von Remy (7) experimentell von neuem bearbeitet worden; bei keiner der in Frage kommenden Untersuchungen hat man sich aber mit der Leinpflanze beschäftigt. Becker-Dillingen (2) führt Zahlen an, die nach freundlicher Auskunft dieses Autors den oben erwähnten Untersuchungen Garolas, bei denen sich nach unseren Vorstellungen ausnahmsweise hohe Gesamtentzugszahlen herausstellten, entnommen sind. Einen weiteren Beitrag hat J. Jacoby (8) in Ungarn geliefert. Beide Arbeiten bestätigen u. a. den starken Jugendbedarf der Leinpflanze an mineralischen Nährstoffen und vornehmlich die starke Aufnahme von Kali und Stickstoff noch im Stadium vor der Blüte.

Im ganzen betrachtet liegt also nur spärliches Material vor; eine vergleichende Beurteilung verschiedener Leintypen, wie sie für die Weiterentwicklung des Leinbaues von Bedeutung sein kann, fehlt ganz. Untersuchungen, welche diese Lücke auszufüllen geeignet sind, müssen deshalb in Anbetracht der nationalwirtschaftlichen Bedeutung unserer wichtigsten Faserpflanze als zeitgemäß und notwendig anerkannt werden.

In Dahlem ausgeführte Feld- und Gefäßversuche über die Nährstoffaufnahme des Leins.

A. Feldversuche.

1. Methodisches.

Zwecks Gewinnung sicherer Beurteilungsgrundlagen mußte in Anbetracht der unberechenbaren Witterungseinflüsse Wert auf mehrjährige Untersuchungen gelegt werden. Unsere Feldversuche erstreckten sich daher auf die Jahre 1935 bis 1937. Leider wurden die Versuche des Jahres 1936 durch Dürre und Vogelfraß unbrauchbar. Einzelheiten über die in den Jahren 1935 und 1937 ausgeführten Versuche enthält die Übersicht 2. Zur Ergänzung sei folgendes bemerkt. Gang der Untersuchung: Aus versuchsmäßig exakt bestellten Feldbeständen wurden gemäß den Übersichten 4 und 6 1935 zu 12, 1937 zu 10 verschiedenen Zeitpunkten nebeneinanderliegende Kleinteilstücke abgeerntet und die Ernten auf Trockensubstanzgehalt und Nährstoffe untersucht. Die zwischen 3 und 9 Tagen wechselnden Intervalle zwischen den einzelnen Ernteterminen im Jahre 1935 finden ihre Erklärung damit, daß von vornherein 12 Erntezeitpunkte in Aussicht genommen waren und versucht wurde, diese dem jeweiligen Entwicklungszustand des Leins anzupassen. 1937 wurden von vornherein 5-6tägige Zwischenzeiten eingelegt, so daß sich bis zur Vollreife 10 Erntetermine ergaben (s. Übersicht 6).

Daß bei der Probenahme besonderer Wert auf die Ausschaltung aller Störungen durch irgendwelche Zufälligkeiten und auf die Gewinnung möglichst gleichmäßigen Pflanzenmaterials gelegt wurde, ist selbstverständlich.

Auf den Wurzelanteil, der nach Celal (9) je nach der Sorte und den Außenbedingungen etwa 10% bis 17% des Strohgewichtes betragen kann, mußte allerdings verzichtet werden. 1935 betrug die Erntefläche 4 qm, die Zahl der Vergleichsstücke bei jeder Ernte 4. 1937 wurden 1 qm große Teilstücke bei gleichfalls vierfacher Wiederholung benutzt. — Nach Feststellung der Erträge an Trockenmasse wurden die Teilstückerträge gründlich gemischt und eine Durchschnittsprobe zur chemischen Untersuchung entnommen. Daß dieses Verfahren versuchstechnisch nichts Vollkommenes darstellt, ist uns natürlich bekannt. Der wesentlichste Mangel ist das Fehlen eines kritischen Maßstabes für die Treffsicherheit der aus Durchschnittsproben ermittelten Nährstoffmengen. Die Nährstoffaufnahmekurven (s. Übersicht 4—6) weisen daher auch auf die unvermeidlichen Unsicherheiten des Feldversuches zurückzuführende Unstimmigkeiten auf. Doch handelte es sich für uns darum, die erstrebenswerte Genauigkeit und das zu bewältigende Maß an Arbeit in Anpassung an die verfügbaren Arbeitskräfte und Mittel möglichst aufeinander abzustimmen, ein Ziel, das wir auf dem angeführten Wege erreicht zu haben glauben.

2. Wachstumsbedingungen.

Der Boden des Dahlemer Feldes dürfte hinreichend bekannt sein. Er besteht aus humusarmem, schwach saurem lehmigen Sand, der auf den Feldstücken, die unsere Versuche trugen, bei 70—80 cm Tiefe von mittlerem bis schwerem Lehm unterlagert und stark stickstoffbedürftig ist, auf Phosphorsäure und Kali aber nicht reagiert. — Von grundlegender Bedeutung für das Ergebnis unserer Arbeit war natürlich die Art und Stärke der Düngung. Die Nährstoffaufnahme bei verschiedener Nährstoffzufuhr zu studieren, wäre gewiß reizvoll gewesen; doch mußten wir in Anbetracht der damit verbundenen Mehrarbeit darauf verzichten. Zwecks Verhütung eines unerwünschten Luxuskonsums entschlossen wir uns daher zu einer unter den hiesigen Verhältnissen bewährten mäßigen Volldüngung (s. Übersicht 2). Dabei mußte natürlich neben dem Nährstoffbedarf des Bodens der Vorfrucht Rechnung getragen werden. Demgemäß wurden die Düngergaben nach früher kleiner Erbse schwächer als 1937 nach Kartoffeln bemessen. Seinen vom Faserlein stark abweichenden Eigenschaften entsprechend erhielt der kurzbleibende standfeste Ollein 1935 am 14. Mai eine zusätzliche Stickstoffgabe von

Tabelle 1.

Monat	Mittlere Temperatur			Niederschläge		
	Langjähriges Mittel °C	1935 °C	1937 °C	Langjähriges Mittel mm	1935 mm	1937 mm
März	3,4	3,04	4,49	37,0	25,2	61,2
April	7,9	8,96	9,83	42,0	85,8	51,5
Mai	13,2	13,00	18,15	49,0	62,9	47,5
Juni	16,2	19,70	19,77	58,0	73,8	46,3
Juli	18,0	18,70	19,40	80,0	34,4	71,8
Summe				266,0	282,1	278,3

22 kg N = 80 kg Leunasalpeter je ha, also die doppelte Stickstoffgabe wie der Faserlein. Die übrigen Salze wurden mehrere Tage vor der Saat verabfolgt.

Angaben über den Witterungsverlauf enthält die Übersicht 1. Hiernach waren die mittleren Temperaturen 1935 im April und Juni, 1937 in allen in Betracht kommenden Monaten, ganz besonders aber im Mai zu hoch. Die Niederschläge waren, gemessen an den monatlichen Summenwerten, für den Lein ausreichend. Trotzdem war die Verteilung eher ungünstig. 1935 traten mehrfach kürzere Trockenperioden vor und während der Blüte auf. Auch während der Ausreifung war es meist heiß und trocken. 1937 herrschte vom

Übersicht 2. Feldversuche 1935 und 1937.

	1935 Faserlein Sorte: Eckendorfer Frühlein	1935 Öllein Sorte: Sorauer Öllein	1937 Faserlein Sorte: Dahlemer Zuchtstamm
Feldschlag	Dahlem II[2]	Dahlem II[2]	Dahlem II[1]
Vorfrucht	Erbsen	Erbsen	Kartoffeln
Düngung kg N ha . . .	22,4 als Leunasalp.	44,8 als Leunasalp.	35 als Kalkammons.
kg P_2O_5 ha . . .	21,6 als Superph.	21,6 als Superph.	34 als Superph.
kg K_2O ha . . .	40,0 als 40 % Salz	40,0 als 40 % Salz	80 als 40 % Salz
Saatstärke kg/ha	100	70	140
Saatzeit	16. 4.	16. 4.	12. 4.
Aufgang	24. 4.	24. 4.	22. 4.
Blüte	16. 6. -- 30. 6.	15. 6. — 2. 7.	4. 6. — 14. 6.
Vollreife	23. 7.	30. 7.	19. 7.
Größte Pflanzenhöhe . cm	am 1. 7. 69,7	am 23. 7. 49,7	am 12. 6. 82,5
Pflanzenhöhe zuletzt . cm	am 23. 7. 64,7	am 23. 7. 49,7	am 19. 7. 78,00
Trockenmasse Maximum kg/ha	am 17. 7. 3610	am 20. 7. 3810	am 19. 7. 4116
Trockenmasse zuletzt . kg/ha	am 23. 7. 2990	am 23. 7. 3510	am 19. 7. 4116
Asche Maximum . . . kg/ha	am 17. 7. 193,3	am 23. 7. 244,6	am 17. 6. 220,4
Asche zuletzt . . . . kg/ha	am 23. 7. 138,2	am 23. 7. 244,6	am 19. 7. 186,9
Stickstoff Maximum . . kg/ha	am 17. 7. 45,8	am 27. 7. 50,7	am 17. 6. 70,4
Stickstoff zuletzt . . . kg/ha	am 23. 7. 33,2	am 23. 7. 42,8	am 19. 7. 47,2
Phosphorsäure Maximum kg/ha	am 17. 7. 15,77	am 20. 7. 22,26	am 17. 6. 16,29
Phosphorsäure zuletzt . kg/ha	am 23. 7. 12,73	am 23. 7. 17,7	am 19. 7. 15,52
Kali Maximum . . . kg/ha	am 17. 7. 42,6	am 20. 7. 46,4	am 12. 6. 67,17
Kali zuletzt. . . . . kg/ha	am 23. 7. 28,5	am 23. 7. 40,9	am 19. 7. 42,69
Kalk Maximum . . . kg/ha	am 17. 7. 36,7	am 17. 7. 45,1	am 19. 7. 45,56
Kalk zuletzt . . . . kg/ha	am 23. 7. 23,7	am 23. 7. 44,4	am 19. 7. 45,56
Magnesia Maximum . kg/ha	am 23. 7. 8,44	am 17. 7. 10,73	am 17. 6. 6,49
Magnesia zuletzt . . . kg/ha	am 23. 7. 8,44	am 23. 7. 9,58	am 19. 7. 5,52

21. Mai an bei zeitweilig großer Hitze eine fast vierwöchige Trockenheit, auf welche bei gleichfalls zu hohen Temperaturen eine regenreiche Periode folgte, so daß sich die Ausreifungsperiode stark in die Länge zog.

3. Die Entwicklung und Gesamtnährstoffaufnahme des Leins.

Über die Entwicklung unserer Versuchspflanzen, die für den Verlauf der Nährstoffaufnahme von entscheidender Bedeutung ist und deshalb in aller Kürze gekennzeichnet werden muß, gibt Übersicht 2 Aufschluß.

Der vorstehenden Übersicht sind die folgenden, hier besonders interessierenden Vergleichsdaten zu entnehmen.

Die im Vergleich zum Faserlein längere Blühdauer, Ausreifungsperiode und Gesamtvegetationsdauer ist typisch für den mehr und größere Samen ausbildenden Öllein. Infolge der höheren Temperatur hat der Faserlein die vegetative Periode 1937 rascher durchlaufen als 1935, die reproduktive infolge der größeren Feuchtigkeit aber wesentlich langsamer. 1935 erreichte der Faserlein

	Faserlein 1935	Öllein 1935	Faserlein 1937
	Zahl der Tage:		
Aussaat—Aufgang	8	8	10
Aufgang—Blühbeginn . . .	52	51	43
Blühdauer	14	17	10
Blühende—Reife	23	28	35
Aufgang—Reife	89	96	88

im günstigsten Falle, und zwar etwa 3 Wochen vor der vollen Reife eine Pflanzenhöhe von knapp 70 cm und einen Gesamtertrag (Trockenmasse) von 36 dz/ha. Die Entwicklung war also nur mäßig; bis zur Vollreife ist sogar ein nicht unbeträchtlicher Rückgang beider Werte eingetreten. Seiner morphologischen Eigenart entsprechend blieb der Öllein noch um 20 cm kürzer. Sein Gesamtertrag war trotz der stärkeren Stickstoffdüngung kaum größer. Auch bei dem Öllein ist ein Rückgang des Ertrages an Trockenmasse zu verzeichnen, der aber nur etwa 8% gegenüber fast 20% bei dem Faserlein beträgt.

Die vollreife Leinpflanze erfährt auch unter den praktischen Verhältnissen einen gewissen Gewichtsverlust durch Abfall der bei dem Reifevorgang völlig trocken und spröde werdenden Blätter; doch erreichen diese Verluste die bei unserem Versuch festgestellte Höhe sicherlich nicht. Da nach Ausweis der Versuchsdaten der Abfall der Pflanzenlänge und des Ertrages von der 9. bzw. 10. bis zur 12. Ernte stufenweise regelmäßig erfolgte, können Ungleichmäßigkeiten des Bodens nicht dafür verantwortlich gemacht werden. Die Differenz kann deshalb, da sonstige Ernteverluste ausgeschlossen sind, nur Zersetzungsvorgängen nach Art einer Vorröste auf dem Halm zugeschrieben werden. Bei der folgenden Betrachtung der Nährstoffaufnahme muß dieser Störung natürlich Rechnung getragen werden.

Ein besseres und rascheres Wachstum als im ersten Jahre zeigte der Faserlein 1937. Sein größtes Höhenmaß betrug 82,5 cm und der Höchstertrag an Trockenmasse 4116 kg gegenüber 69,7 cm und 3610 kg im Jahre 1935. Infolgedessen war auch der Nährstoffentzug im letzten Jahr wesentlich größer. Der Vergleich der von den beiden Leinsorten im Jahre 1935 aufgenommenen maximalen Nährstoffmengen fällt bezüglich der Gesamtasche, der Phosphorsäure, des Kalkes und in geringerem Maße auch bezüglich des Stickstoffs zugunsten des Ölleins aus. Die Kalientnahme ist, wenn man wieder die Höchstwerte in Betracht zieht, bei dem Öllein nur wenig höher als bei dem Faserlein. Der verschiedene Nährstoffbedarf ist für die beiden Leintypen charakteristisch: der strohreiche Faserlein hat ein relativ großes Bedürfnis für Kali, der körnerreiche Öllein für die Nährstoffe Phosphorsäure und Kalk.

Der Vergleich des Faserleins 1937 mit dem Öllein 1935 führt ungefähr zu demselben Ergebnis. Trotz des größeren Gesamtertrages des Faserleins ist die Aufnahme an Gesamtasche und Phosphorsäure bei ihm geringer als bei dem Öllein 1935, an Stickstoff und Kali dagegen größer. In der Kalkaufnahme ist trotz der Ertragsunterschiede zu ungunsten des Öllein kein Unterschied vor-

handen. Die Kalkaufnahme des Ölleins war also auch hier relativ größer. In gleicher Richtung liegen die Beobachtungen von v. Boguslawski (10), der bei seinen Untersuchungen über die Bedeutung der Bodenreaktion, also mittels ganz anderer Methoden, gleichfalls ein größeres Kalkbedürfnis bzw. eine geringere Kalkempfindlichkeit des Ölleins feststellte.

Bei Betrachtung der Faserleine 1935 und 1937 muß bedacht werden, daß verschiedene Sorten angebaut worden waren, nämlich Eckendorfer Frühlein und Dahlemer Faserlein. Trotzdem sind die Unterschiede im Wachstum, in der Substanzbildung und in der Nährstoffaufnahme weit mehr den Einflüssen des Standorts und der Witterung zuzuschreiben als dem spezifischen Sortencharakter, da nach Ausweis anderweitiger Beobachtungen die Sortenunterschiede nur gering sind.

In der Übersicht 2 sind noch die bis zur Vollreife bzw. Schlußernte festgestellten Verluste an Nährstoffen bemerkenswert. Der Rückgang der Nährstoffe nach Erreichung eines Maximums bis zum Eintritt der Reife ist aus anderweitigen Untersuchungen seit langem bekannt. Auf die hier in Betracht kommenden Fälle wird später eingegangen werden.

4. Faserlein 1935.

a) Verlauf der Produktion von Trockenmasse und Faser.

Der Betrachtung über die Beziehungen zwischen der Trockensubstanzbildung und der Nährstoffaufnahme sei ein kurzer Vergleich der Bildung von Trockenmasse und Faser vorangeschickt, um so über die Trockensubstanz die Verbindung zwischen Faserbildung und Nährstoffaufnahme herzustellen.

Die erste Ernte wurde am 25. Mai 31 Tage nach dem Aufgang vorgenommen; dann wurde in drei- bis neuntägigen Abständen gemäß Übersicht 3 geerntet. Die letzte Ernte fiel am 23. Juli mit der Vollreife zusammen. Der Gesamtfasergehalt wurde nach dem Verfahren von Bredemann von der dritten Ernte an für jede Teilstückenernte, bezogen auf Trockenmasse, getrennt bestimmt. Die Fasergehaltszahlen in Übersicht 3 sind also Mittelwerte von 8 gut übereinstimmenden Einzelbestimmungen.

Die infolge der genauen Arbeitsweise genügend gesicherten Daten weisen bereits am 6. Juni — also 42 Tage nach dem Aufgang — 17,6% Gesamtfaser in der Trockenmasse nach: eine Zunahme auf 19,4% wird erst nach weiteren 11 Tagen, als die Blüte begonnen hatte und der Höchstgehalt von 21—22% nach abermals 14 Tagen, also nach einer Wachstumsdauer von 67 Tagen erreicht.

Übersicht 3. Faserlein 1935. Bildung von Trockenmasse und Faser.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Datum	25. 5.	31. 5.	6. 6.	11. 6.	14. 6.	17. 6.	21. 6.	1. 7.	10. 7.	17. 7.	20. 7.	23. 7.
Zahl der Tage: Aufgang — Ernte	31	36	42	47	50	53	57	67	76	83	86	89
Trockenmasse kg/ha .	229	503	953	1545	1905	2240	2480	3230	3270	3610	3060	2990
Trockenmasse Ertrag %	6,4	13,9	26,4	42,8	52,8	62,1	68,7	89,5	90,6	100	84,8	82,8
Faser %	—	—	17,6	17,0	17,3	19,4	19,6	21,2	22,5	20,0	22,6	21,6
Faser Ertrag kg/ha . .	—	—	1,68	2,63	3,30	4,35	4,86	6,88	7,36	7,59	6,92	6,46
Faser Ertrag % . . .	—	—	22,3	34,9	43,8	57,7	64,5	91,2	97,8	100	90,8	85,7

Dann schwankt der Fasergehalt bis zur Vollreife etwa um 1% innerhalb des Fehlerbereichs.

Bereits Liebscher bediente sich bei seinen Untersuchungen der prozentischen Berechnung der Ernten an Trockensubstanz und Nährstoffen, bezogen auf den jeweiligen Höchstertrag. Auch wir bedienen uns dieser Berechnungsweise, welche die vergleichende Betrachtung verschiedener Versuchsreihen in einwandfreier Weise ermöglicht.

Der Höchstertrag an Trockenmasse und Faser wurde am 17. Juli, also etwa einen Monat nach Blühbeginn erreicht. Wie sich bereits aus den Fasergehaltswerten ergibt und durch die relativen Fasererträge entsprechend bestätigt wird, bleiben diese bis zu der mit dem Blühbeginn etwa zusammenfallenden 6. Ernte hinter den relativen Erträgen an Trockenmasse deutlich zurück. Die bei den folgenden Ernten noch vorliegenden Abweichungen der beiderseitigen Relativzahlen erscheinen als wahrscheinlich im Fehlerbereich liegend unwesentlich, so daß für die letzten 36 Tage Gleichlauf der Ertragsbildung an Trockenmasse und Faser angenommen werden kann. Der bei der 10. Ernte erreichte Höchstertrag von 7,54 dz Faser entspricht annähernd einer unter den Bedingungen der Praxis üblichen Mittelernte, doch ist der Rückgang des Fasерertrages bis zum letzten Erntetermin entsprechend der Minderung des Ertrages an Trockenmasse ziemlich beträchtlich. Als Ursache hierfür kann wie gesagt nur Überständigkeit des Leins angenommen werden.

b) Substanzbildung und Nährstoffaufnahme.

Mit dem Tage des größten Trockensubstanzertrages, dem 17. Juli, fällt auch die stärkste Aufnahme an Stickstoff, Phosphorsäure und Kali zusammen. Die relative Aufnahme an mineralischen Nährstoffen im ganzen übertrifft die relative Substanzbildung bis zum Blühbeginn (17. Juni) aber erheblich, und zwar um so mehr, in je früherem Stadium die Untersuchung erfolgte. Der Ausgleich in der Bildung von Substanz und in der Nährstoffaufnahme ist erst am 1. Juli erfolgt (also am Ende der Blühperiode), da jetzt 89,5% des Trockensubstanzertrages und 89,3% des Aschenertrages erreicht sind. — Nach Erreichung des Höchstertrages (17. Juli) geht die Mineralstofferntе stärker zu-

Übersicht 4. Faserlein 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Datum	25. 5.	31. 5.	6. 6.	11. 6.	14. 6.	17. 6.	21. 6.	1. 7.	10. 7.	17. 7.	20. 7.	23. 7.
Zahl der Tage: Aufgang—Ernte	31	36	42	47	50	53	57	67	76	83	86	89
Trockenmasse . .	6,3	13,9	26,4	42,8	52,8	62,1	68,7	89,5	90,6	100	84,8	82,8
Asche	20,5	34,7	54,9	69,9	77,1	80,7	81,8	89,3	91,3	100	80,2	71,5
Stickstoff	21,1	38,5	46,4	59,3	60,7	63,0	75,7	74,7	84,9	100	77,4	72,4
Phosphorsäure . .	11,8	25,9	33,6	51,5	59,9	63,5	73,4	91,6	96,7	100	98,3	80,9
Kali.	14,3	36,6	59,5	81,2	87,2	88,3	87,3	90,2	95,2	100	82,6	66,7
Kalk	14,1	28,4	44,3	55,1	59,0	61,7	78,1	100	81,5	96,6	75,5	62,0
Magnesia. . . .	10,6	19,8	28,4	40,6	50,1	53,5	68,1	81,0	78,1	90,6	80,4	100

rück als die Substanzernte (Schlußwerte 82,8% Trockenmasse und 71,5% Asche); auf die wahrscheinlichen Ursachen der Nährstoffverluste wird später eingegangen werden.

Von allen Nährstoffen hat die junge Leinpflanze am ersten Erntetermin (25. Mai), also im Alter von 31 Tagen, absolut und relativ am meisten Stickstoff aufgenommen. Der Vorsprung der Stickstoffaufnahme hört aber bald auf; denn bereits bei der dritten Ernte ist die relative Aufnahme an Mineralstoffen im ganzen und an Kali größer als an Stickstoff; bei Blühbeginn (17. Juni) entsprechen sich die Relativwerte für Trockenmasse und Stickstoff ziemlich genau und am Ende der Blüte ist die Substanzbildung stärker als die Stickstoffaufnahme; der Rückgang im Stickstoffgehalt der Leinpflanzen ist aber an den letzten beiden Ernteterminen erheblich. Zuletzt wurden nur 72,4% des Höchstertrages gefunden. Aus der starken N-Aufnahme der jungen Pflanzen und dem Befund, daß bis zum 11. Juni, also 5—6 Tage vor Blühbeginn bzw. in den ersten 47 Tagen des Wachstums 27,2 kg = rund 60% der Höchstmenge an Stickstoff aufgenommen wurden, ist jedenfalls auf ein relativ starkes Bedürfnis der jugendlichen Pflanze für schnell wirkende Stickstoffnahrung zu schließen.

Nach einer im Vergleich zur Aufnahme an Gesamtasche und Stickstoff anfangs etwas zögernden Aufnahme an Kali wurde dieser Nährstoff von einem zwischen dem 31. Mai und 6. Juni liegenden Termin an in weit stärkerem Maße von der Leinpflanze resorbiert, als sämtliche übrigen Stoffe einschließlich der Gesamtasche, so daß am 17. Juni bei Blühbeginn, also 53 Tage nach dem Auflauf, bereits 88% des gesamten Kalibedarfs gedeckt wurden; die restlichen 12% eignete sich die Pflanze dann bis zum Höchstwert, der am 17. Juli nach 83 Tagen erreicht wird, in langsamerem Tempo an. Auffällig ist der starke Rückgang der Kalimenge im Betrage von 14 kg/ha = 33% des Höchstbetrages.

Die Aufnahmekurve der Nährstoffe Phosphorsäure und Kalk ist insbesondere dem Kali gegenüber durch allmählichen und flacheren Anstieg und annähernden Parallelismus untereinander gekennzeichnet. Bei Blühbeginn sind erst 63% des Maximums an Phosphorsäure aufgenommen. Vom 11. Juni an ist auch eine ziemlich gute Anpassung an die Stickstoffkurve zu beobachten. Auffälliger Weise ist die größte Menge an Kalk bereits am 1. Juli gefunden worden. Da jedoch mit der Möglichkeit eines Versuchsfehlers zu rechnen ist, kann dieser Befund nicht besonders gewertet werden. Der Abfall nach dem Überschreiten des Gipfelpunktes ist bei der Phosphorsäure nur gering und dem Rückgang des Ertrages an Trockenmasse entsprechend, bei dem Kalk hingegen besonders stark. Eine Sonderstellung unter allen Nährstoffen scheint infolge der besonders langsamen und anhaltenden Aufnahme die Magnesia einzunehmen.

Im ganzen gesehen hat die Leinpflanze die Aufnahme der Nährstoffe bis zum Eintritt der vollen Blüte bedeutend mehr beschleunigt als die Substanzbildung. Vom Blühende (1. Juli) ist bis zum

17. Juli — dem Tage der Höchstmenge an Trockenmasse und Nährstoffen, ein Gleichlauf beider Prozesse zu beobachten; außer der Magnesia bleibt nur der Stickstoff auffälliger Weise etwas im Rückstand.

5. Die Nährstoffaufnahme des Ölleins im Vergleich zu der des Faserleins 1935.

Der Öllein trat einen Tag früher in die Blüte, blühte aber zwei Tage länger und reifte sieben Tage später als der Faserlein. Bezüglich der Erntetermine war also zu entscheiden, ob diese zur Erfassung bestimmter Perioden der Nährstoffaufnahme dem abweichenden Entwicklungsrhythmus des Ölleins oder den Ernteterminen des Faserleins angepaßt werden sollte. Wir entschieden uns für das letztere und ernteten beide Sorten gleichzeitig zu 12 verschiedenen Zeitpunkten. Es ist also zu bedenken, daß sich dabei der Öllein etwa von der Vollblüte an jeweils in einem relativ jüngeren Entwicklungszustand befand und bei der letzten Untersuchung wohl vollreif, aber nicht wie der Faserlein überständig war. Der verschiedene Entwicklungsrhythmus der beiden Leintypen spiegelt sich auch in den (hier nicht angeführten) prozentischen Trockensubstanzzahlen wieder, die bis zur achten Ernte (Abschluß der Blüte) gleich, dann aber bei dem Öllein jeweils kleiner waren als bei dem Faserlein.

Damit ist zunächst eine naheliegende Erklärung dafür gegeben, daß das Maximum der Substanzbildung und der Nährstoffaufnahme bei dem Öllein nicht so einheitlich wie bei dem Faserlein bei der 10. Ernte eingetreten ist, sondern sich zum Teil auch auf die allerdings um drei Tage später erfolgte 11. bzw. auch noch auf die 12. und letzte Ernte erstreckte und daß der Abfall der Werte für Stickstoff, Kali usw. bis zur letzten Untersuchung geringer ist als bei dem Faserlein.

Bei der Betrachtung der Zahlen muß außerdem naturgemäß die im Wesen des Feldversuchs liegende Unsicherheit berücksichtigt werden, die manche Unregelmäßigkeiten im Verlauf der Aufnahmekurven erklärlich erscheinen läßt. Bei aller infolgedessen gebotenen Vorsicht in der Auswertung der Befunde ist jedoch folgendes mit Sicherheit festzustellen.

Die Aufnahmekurven des Ölleins gleichen grundsätzlich denjenigen des Faserleins bezüglich des anfänglichen Überwiegens der Aufnahme von Mineralstoffen überhaupt über die Substanzbildung, der anfänglich starken Aufnahme von Stickstoff und

Übersicht 5. Öllein 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Datum	25. 5.	31. 5.	6. 6.	11. 6.	14. 6.	17. 6.	21. 6.	1. 7.	10. 7.	17. 7.	20. 7.	23. 7.
Zahl der Tage: Aufgang—Ernte	31	36	42	47	50	53	57	67	76	83	86	89
Trockenmasse . .	5,0	13,4	21,1	41,9	51,7	56,9	61,4	85,6	92,1	97,1	100	92,1
Asche	11,3	25,4	36,9	57,4	60,8	62,8	61,0	74,5	80,2	96,5	85,3	100
Stickstoff	19,9	44,5	51,9	59,8	67,7	73,2	69,7	74,6	89,4	96,4	100	84,5
Phosphorsäure . .	6,7	18,6	24,6	39,5	44,4	48,9	53,7	76,4	93,3	100	99,6	79,1
Kali	9,9	30,4	40,6	64,9	68,2	66,8	65,9	78,6	87,6	97,1	100	87,6
Kalk	9,3	19,4	31,4	49,1	53,7	54,3	66,9	76,6	84,8	100	75,9	98,7
Magnesia	—	15,7	24,7	40,2	45,9	48,6	58,9	79,0	94,9	100	71,0	88,4

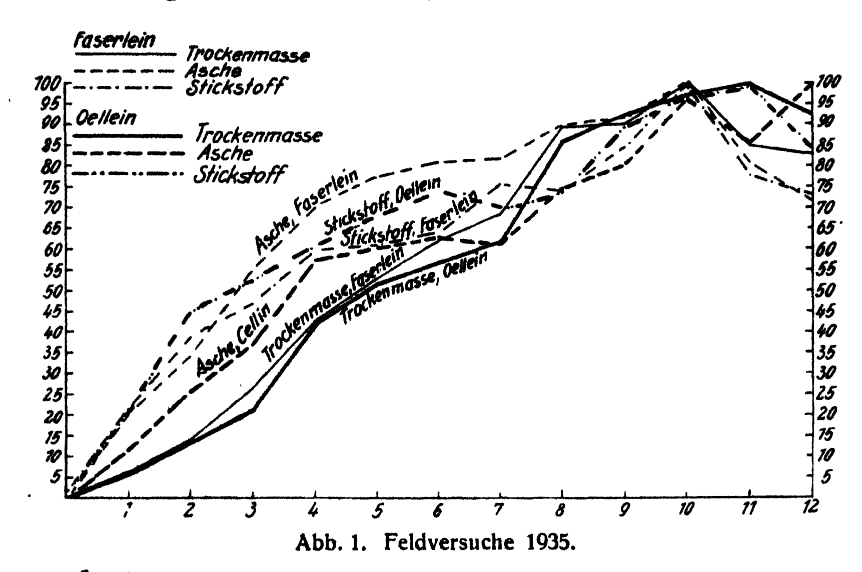


Abb. 1. Feldversuche 1935.

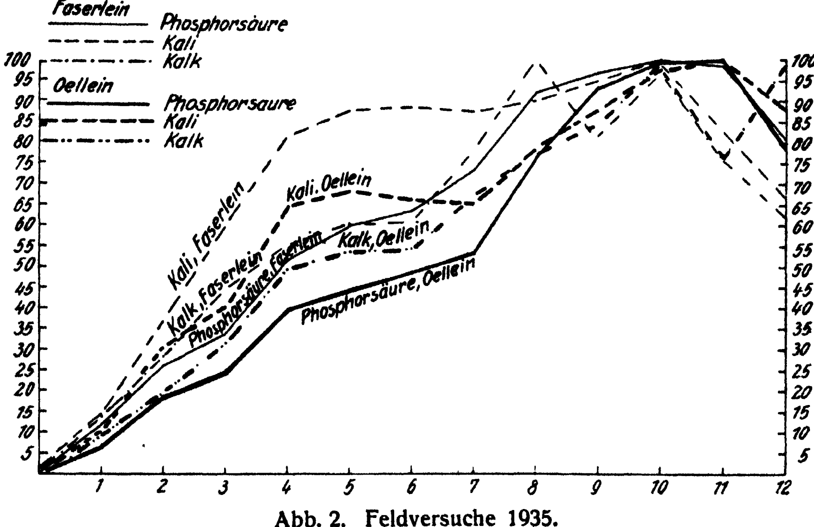


Abb. 2. Feldversuche 1935.

Kali und der im ganzen langsameren Aufnahme von Phosphorsäure, Kalk und Magnesia. Eine annähernde Anpassung der Mineralstoffaufnahme an die Trockensubstanzbildung ist bereits am 21. Juni — also 57 Tage nach dem Aufgang und 10 Tage früher als bei dem Faserlein eingetreten. Trotz dieser grundsätzlichen Übereinstimmung läßt die nähere vergleichende Betrachtung des Zahlenwerks aber die folgenden bemerkenswerten Unterschiede im Verhalten der beiden Leinsorten erkennen.

Während die Erzeugung von Trockenmasse bis zur Blüte bei beiden Sorten fast gleichmäßig verläuft und der Öllein erst in der

zweiten Hälfte der Vegetationsperiode hinter dem schneller wachsenden Faserlein ein wenig zurückbleibt, nehmen die Aufnahmekurven insofern einen verschiedenen Verlauf, als der Faserlein dem Öllein bereits bei der 1. bzw. 2. Ernte in der relativen Nährstoffaufnahme weit vorauseilt und seinen Vorsprung etwa bis zur 7. Ernte beibehält. Dies trifft sowohl für die Gesamtasche wie für die Nährstoffe Phosphorsäure, Kalk, Magnesia und in ganz besonders ausgeprägtem Maße für das Kali zu. Eine Ausnahmestellung nimmt allein der Stickstoff ein, dessen Aufnahme bei dem Öllein in der Jugend relativ schneller, oder wenn man unter Berücksichtigung der Versuchsfehler ganz besonders vorsichtig urteilen will, zum mindesten nicht langsamer verläuft als bei dem Faserlein. Zum Beweis für das Gesagte entnehmen wir unseren Zahlenübersichten die folgenden typischen Vergleichswerte.

Ernte	1.		2.		3.		4.		5.		6.	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Trockenmasse . .	6	5	14	13	26	21	43	42	53	52	62	57
Asche	20	11	35	25	55	37	70	57	77	61	82	63
Stickstoff	21	20	39	44	46	52	60	60	61	68	63	73
Phosphorsäure . .	12	7	26	19	34	25	52	40	60	44	64	49
Kali	14	10	37	30	60	41	81	65	87	68	88	67

a = Faserlein, b = Öllein.

In Übereinstimmung mit dem, was oben über die im Höchstfall aufgenommenen Mengen an N und K_2O gesagt wurde, bestätigt sich also das größere Bedürfnis des Faserleins für Kali und das größere Bedürfnis des Ölleins für Stickstoff hiernach auch im zeitlichen Verlauf der Aufnahme beider Nährstoffe, was zu entsprechenden Rückschlüssen auf die Nährstoffversorgung Anlaß geben würde. Allerdings ist die stärkere Stickstoffdüngung des Ölleins nicht zu übersehen (s. S. 175), welche die raschere Aufnahme dieses Nährstoffs durch ihn ohne weiteres bewirkt haben kann, so daß ein sicheres Urteil darüber, ob diese Erscheinung auf die innere Veranlagung der Sorte oder auf Außenfaktoren zurückzuführen ist, im vorliegenden Falle noch nicht gefällt werden kann. Das sortenspezifische Verhalten der beiden Leinsorten bez. der übrigen Nährstoffe dürfte aber aus dem Gesagten mit aller Klarheit hervorgehen. Im übrigen kommen wir auf diese Fragen bei der Besprechung der Gefäßversuche nochmals zurück.

6. Die Nährstoffaufnahme des Faserleins im Jahre 1937 im Vergleich zu derjenigen im Jahre 1935.

Der besonders raschen Entwicklung des Faserleins im Jahre 1937, über die oben bereits näheres mitgeteilt wurde, folgte naturgemäß die Nährstoffaufnahme in entsprechendem Tempo, so daß in diesem Jahre das Bedürfnis des Leins für leicht zugängliche Nährstoffe noch stärker hervortritt als 1935.

Übersicht 6.

Faserlein 1937. Prozentische Nährstoffaufnahme.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Datum	14. 5.	20. 5.	26. 5.	2. 6.	7. 6.	12. 6.	17. 6.	22. 6.	30. 6.	19. 7.
Zahl der Tage: Aufgang—Ernte	22	28	34	41	46	51	56	61	69	88
Trockenmasse . . .	4,0	14,2	38,6	55,5	70,2	85,9	95,6	99,4	96,9	100
Asche	14,3	37,6	75,0	84,0	86,6	99,5	100	94,6	92,8	84,8
Stickstoff	12,7	41,1	80,5	70,4	82,9	89,9	100	92,9	87,2	67,3
Phosphorsäure . . .	11,7	34,8	62,1	67,0	78,6	93,1	100	96,4	93,0	95,3
Kali	16,6	42,6	84,7	85,1	89,9	100	96,7	91,9	85,5	63,6
Kalk	8,7	26,7	59,3	66,2	76,1	90,8	98,5	97,9	98,9	100
Magnesia	8,5	27,7	64,1	92,3	89,5	88,8	100	89,5	86,6	85,1

Wie groß die Unterschiede mit Bezug auf die relative Menge der aufgenommenen Nährstoffe bei gleichem Alter der Pflanzen in den beiden Versuchsjahren waren, zeigt die folgende Zusammenstellung.

Übersicht 7.

Alter der Pflanzen:	6. Ernte		7. Ernte	
	1935 53 Tage %	1937 51 Tage %	1935 57 Tage %	1937 56 Tage %
Trockenmasse . . .	62	86	69	96
Asche	81	99	82	100
Stickstoff	63	90	76	100
Phosphorsäure . . .	63	93	73	100
Kali	88	100	87	97
Kalk	62	94	78	99
Magnesia	53	89	68	100

Es liegt nahe, weiter zu prüfen, ob sich trotz derartig starker Unterschiede der während gleicher Zeiträume gespeicherten Nährstoffmengen regelmäßig Beziehungen zwischen diesen und den Entwicklungsphasen ergeben. Die Fragestellung läuft also darauf

Übersicht 8.

Stand der Nährstoffaufnahme bei der Blüte des Faserleins 1935 und 1937.

	1935		1937	
	Am 17. 6. Beginn der Blüte 53	Am 1. 7. Ende der Blüte 67	Am 2. 6. Beginn der Blüte 41	Am 12. 6. Ende der Blüte 51
	Tage nach dem Aufgang		Tage nach dem Aufgang	
Trockenmasse . . .	62,1	89,5	55,5	85,9
Asche	80,7	89,3	84,0	99,5
Stickstoff	63,0	74,7	70,4	89,9
Phosphorsäure . . .	63,5	91,6	67,0	93,1
Kali	88,3	90,2	85,1	100
Kalk	61,7	100	66,2	90,8
Magnesia	53,5	81,0	(92,3)	88,6

Übersicht 9. Tägliche Trockensubstanz-

Wiev. Ernte	1.*)			2.*)			3.*)			4.*)			5.*)	
	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935
Trockenmasse	7,4	6,13	6,98	45,7	53,33	70,42	75,0	49,00	167,66	118,4	158,20	99,43	120,0	123,00
Asche	1,28	0,89	1,37	4,58	5,73	8,56	6,48	4,70	13,78	5,81	10,03	2,83	4,65	2,79
Stickstoff	0,31	0,33	0,39	1,33	2,08	3,34	0,60	0,63	4,63	1,19	0,80	− 1,02	0,21	1,33
Phosphors.	0,06	0,48	0,08	0,38	0,44	0,63	0,20	0,22	0,74	0,57	0,66	0,11	0,45	0,36
Kali	0,20	0,15	0,31	1,58	1,59	3,52	1,62	0,79	4,77	1,86	2,25	0,03	0,85	0,51
Kalk	0,17	0,13	0,17	0,91	0,77	1,39	1,01	0,90	2,47	0,82	1,60	0,45	0,49	0,68
Magnesia	0,03	—	0,02	0,13	0,28	0,21	0,12	0,16	0,39	0,20	0,33	0,26	0,26	0,21

*) Erntetermine s. Übersicht 4, 5 u. 6.

hinaus, ob die relative Nährstoffaufnahme nach Ablauf bestimmter Entwicklungsabschnitte und unabhängig von der hierzu erforderlichen Zeitspanne quantitativ annähernd gleich groß ist. Die für unsere Betrachtung wichtigen Vergleichsdaten sind in der Übersicht 8 als Auszug aus den Übersichten 4 und 6 zusammengestellt.

Vergleichen wir die in Betracht kommenden Daten der beiden Versuchsjahre, so ergibt sich trotz der weit längeren Dauer, den der Abschnitt Aufgang — Blühbeginn bzw. Aufgang — Blühende 1935 im Vergleich zu 1937 aufweist, eine befriedigende Gleichmäßigkeit der Relativzahlen bis auf zwei Fälle (Stickstoff bei Blühende und Magnesia bei Blühbeginn). Wir sehen z. B., daß in beiden Jahren zum Beginn der Blüte rund 60% der organischen Masse, aber bereits über 80% der Asche und des Kalis gebildet wurde, daß annähernd 70% Stickstoff, aber erst rund 65% Phosphorsäure und Kalk aufgenommen sind; in ähnlicher Weise läßt sich der Stand der Substanzbildung und der Nährstoffaufnahme am Ende der Blüte trotz des besonders großen zeitlichen Unterschiedes von 16 Tagen der Phase Aufgang — Blühende aus den zweijährigen Ergebnissen gut ablesen. Wir sehen u. a., daß die Aufnahme der Nährstoffe jetzt dem Maximum sehr nahe gekommen ist. Damit ist auch bereits das Wesentliche über die Einwanderung der einzelnen Nährstoffe im Jahre 1937 und die diesbezüglichen Unterschiede, die den oben für das Jahr 1935 dargelegten Verhältnissen prinzipiell gleich sind, gesagt.

Von Interesse ist weiter ein Vergleich der Nährstoffverluste in beiden Versuchsjahren. 1935 wurde der Höchstertrag an Trockenmasse und Nährstoffen bei der 10. Ernte 83 Tage nach dem Aufgang gefunden. Wie aus der Übersicht 4 hervorgeht, war der darauf folgende Verlust für die Gesamtasche und für Stickstoff, Kali und Kalk relativ zwar wesentlich größer als der Abfall im Substanzertrage; im ganzen betrachtet liegt aber ein prinzipiell gleicher Verlauf beider Prozesse, nämlich ein Abfall der Relativwerte von einem bestimmten Termin an, vor. Dagegen steht 1937

bildung und Nährstoffaufnahme kg/ha.

5.*)	6.*)			7.*)			8.*)			9.*)			10.*)		
Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937	Faserlein 1935	Ollein 1935	Faserlein 1937
121,00	122,0	66,66	129,00	60,0	42,50	80,00	75,0	92,00	31,00	4,40	27,78	12,75	48,6	27,14	6,74
1,13	2,31	1,63	5,69	0,52	1,09	0,24	1,45	3,29	−2,35	0,42	1,55	−0,50	2,41	5,69	−0,93
1,76	0,36	0,94	0,99	1,46	−0,45	1,42	0,05	0,25	−1,00	0,52	0,83	−0,50	0,99	0,51	−0,74
0,38	0,19	0,33	0,47	0,39	0,27	0,22	0,29	0,50	−0,12	0,09	0,42	−0,07	0,08	0,21	0,02
0,65	0,16	−0,23	1,35	−0,11	−0,09	−0,45	0,12	0,59	−0,63	0,24	0,47	−0,54	0,29	0,63	−0,78
0,90	0,35	0,10	1,34	1,56	1,42	0,70	0,84	0,47	−0,06	—	0,41	0,06	—	0,98	0,03
−0,04	0,10	0,10	−0,01	0,31	0,28	0,15	0,11	0,22	−0,14	−0,03	0,19	0,03	0,16	0,08	0,005

dem Anwachsen der Trockenmasse bis zum letzten Termin ein bereits am 61. Tage (8. Ernte) beginnender und sich dann progressiv bis zur letzten Ernte fortsetzender Verlust an den genannten Stoffen mit Ausnahme des Kalks gegenüber. Die letzte Verhältniszahl für Phosphorsäure entspricht unter Berücksichtigung der Versuchsfehler in beiden Jahren derjenigen für die Trockenmasse, so daß von Phosphorsäureverlusten im Grunde genommen nicht gesprochen werden kann. Am stärksten waren in beiden Jahren die Kaliverluste, etwas geringer diejenigen an Stickstoff. Trotz der gekennzeichneten Unterschiede sind also die in zwei Jahren gefundenen Ergebnisse auch in dieser Hinsicht grundsätzlich gleich.

Um den wahrscheinlichen Ursachen für die fraglichen Vorgänge näherzukommen, sei noch auf die während der betreffenden Zeit herrschenden Witterungsverhältnisse verwiesen. 1935 fielen nach längerer Trockenheit nach Feststellung des Maximalertrages bis zur letzten Ernte 13 mm Regen; dabei herrschte große Hitze. Dagegen betrug die Niederschlagsmenge in der langen Ausreifungsperiode des Leins 1937, während der bei voller Erhaltung der Substanz die beträchtlichen Nährstoffverluste eintraten, 95 mm. Wenn man sich der von Th. Pfeiffer auf Grund von Versuchen vertretenen Ansicht, daß die Nährstoffe durch Auswaschung ververloren gehen, anschließt, so wäre zu sagen, daß die Bedingungen für die Auswaschung 1937 infolge der starken Niederschlagsbildung in besonderem Maße vorhanden waren, während im ersten Jahre die später nicht mehr beobachtete Zersetzung der organischen Substanz und mit ihr die Nährstoffverluste durch das Zusammenwirken von Feuchtigkeit und Wärme gefördert worden zu sein scheinen.

Aber wie die Dinge auch liegen mögen, die in Übereinstimmung mit den früheren Befunden stehenden Ergebnisse besagen deutlich genug, daß über den wirklichen Nährstoffbedarf unserer Kulturpflanzen nicht der im ausgereiften Material vorhandene Stoffgehalt, sondern der in einem früheren, je nach dem Witte-

rungsverlauf verschiedenen, Stadium bzw. Zeitpunkt aufgespeicherte Höchstbestand an Nährstoffen, den die Pflanze zum Aufbau ihres Körpers gebraucht hat, die richtige Auskunft gibt.

7. Tägliche Trockensubstanzbildung und Nährstoffaufnahme kg/ha.

Wir haben der bisherigen Betrachtung im wesentlichen die sich aus der bekannten Art der Berechnung ergebenden Relativwerte zugrunde gelegt. In Übersicht 9 bringen wir zur Ergänzung absolute Zahlen über die tägliche Trockensubstanzbildung und Nährstoffaufnahme in kg/ha, die in Anbetracht der in kürzeren Abständen wiederholten Untersuchungen der Wirklichkeit nahe kommen dürften.

Die Zahlen besagen an sich nichts Neues, sondern sind lediglich eine andere, aber besonders charakteristische Ausdrucksform für das Gesagte. Es dürfte wohl nicht ohne Interesse sein, in dieser Weise durch die Gegenüberstellung verschiedener Versuchsreihen einen Überblick über den täglichen Nährstoffbedarf des Leins unter verschiedenen Außenbedingungen zu geben, der die oben abgeleiteten Ergebnisse noch in ein helleres Licht zu setzen geeignet sein wird. Von der nochmaligen Erörterung der Ergebnisse kann wohl abgesehen werden.

B. Die Nährstoffaufnahme des Faser- und Ölleins in Gefäßversuchen im Vergleich zu derjenigen in Feldversuchen. Versuchsjahr 1935.

1. Versuchsanstellung.

Abgesehen von den Klimafaktoren liegt die Regelung der Wachstumsfaktoren bei dem Gefäßversuch bekanntlich in der Hand des Versuchsanstellers. Bei entsprechend starker Differenzierung der Wachstumsfaktoren treten die daraus resultierenden Wirkungen mit ganz besonderer Schärfe in Erscheinung. Für die Aufnahme der dargebotenen Nährstoffe besitzt neben der Stärke der Gabe, der Form der Nährsalze, deren gegenseitigem Mengenverhältnis usw. besonders die Sorptionskraft des Bodens entscheidende Bedeutung.

Trotz dieser hier nur kurz angedeuteten Bedenken, die gegen einen Vergleich des Feld- mit dem Gefäßversuch erhoben werden können, glaubten wir uns zur Bearbeitung unserer Versuchsfrage doch auch des letzteren bedienen zu sollen, um nachzuprüfen, inwieweit die bei dem Feldversuch gefundenen Ergebnisse durch den Gefäßversuch ihre Bestätigung finden.

Aus naheliegenden Gründen benutzten wir Dahlemer Versuchsfeldboden von demselben Schlage, auf dem wir die Nährstoffaufnahme feldmäßig prüften, sowie dieselben Versuchssorten, also Eckendorfer Frühlein als Faserlein und Sorauer Öllein. Der Gefäßinhalt betrug 6,5 kg lufttrockenen Bodens, der zunächst mäßig feucht gehalten, dann täglich auf 100% der W. K. gebracht wurde. Da frühere Gefäßversuche mit Dahlemer Boden bei der Auswertung nach Mitscherlich größere Vorräte an Phosphorsäure und Kali, die über das für Höchsterträge erforderliche Maß hinausgingen, nachgewiesen hatten, wurde von der Zufuhr dieser Nährstoffe ganz abgesehen und lediglich mit 1 g N je Gefäß in Form von Ammoniumnitrat gedüngt, eine Maßnahme, die durch die gute Entwicklung der Versuchspflanzen als durchaus richtig erwiesen wurde. — Die erste Ernte erfolgte am 1. Juni 21 Tage nach dem Aufgang; dann wurde in 4—6tägigen Abständen geerntet, so daß sich einschließlich einer 24tägigen Pause nach der Blüte bis zur Vollreife 10 Erntetermine ergaben. Nach sorgfältigem Auswaschen wurden auch die Wurzeln lufttrocken gemacht und in die Untersuchungen einbezogen.

Angaben über den Verlauf der Entwicklung und die bei Versuchsabschluß aufgenommenen Nährstoffmengen bringt zwecks vorläufiger Orientierung die folgende Zusammenstellung.

Übersicht 10. Gefäßversuche 1935.

	Eckendorfer Frühlein (Faserlein)	Sorauer Ollein
Aussaat am	4. 5.	4. 5.
Aufgang	9. 5.	9. 5.
Blüte: Beginn	23. 6.	23. 6.
Vollblüte	26. 6.	26. 6.
Ende	30. 6.	27. 7.
Größte Pflanzenhöhe	75 cm	57 cm
Erträge je Gefäß bei Abschluß des Versuches am 22. VIII.		
Trockenmasse	42,2 g	51,5 g
Asche	3,20 g	4,53 g
Stickstoff	0,402 g	0,446 g
Phosphorsäure	0,210 g	0,208 g
Kali	0,385 g	0,514 g
Kalk	0,674 g	1,078 g
Magnesia	0,157 g	0,173 g

2. Wachstumsbeobachtungen.

In den Gefäßen lief der Lein bereits nach 5 Tagen auf und entwickelte sich infolge der günstigen Wachstumsbedingungen sehr gut. Bereits nach einer Vegetationsdauer von 45 Tagen, also 7 bzw. 8 Tage früher als im Felde, trat er in Blüte, brauchte aber bis zum Eintritt der Reife bedeutend mehr Zeit als die zeitweise unter Trockenheit leidenden Feldbestände, so daß als Gesamtvegetationsdauer die Zeit von 105 Tagen (für beide Sorten) verzeichnet wurde gegenüber 89 bzw. 96 Tagen (Faser- bzw. Ollein) im Freilande. Die laut Versuchsprotokoll mit 34 Tagen angeführte, also auffällig lange Blühdauer des Olleins gegenüber 7 Tagen bei dem Faserlein dürfte darauf beruhen, daß bei der ersteren Sorte einzelne Nachzügler noch spät in Blüte traten. Eine genaue zeitliche Fixierung der Blühzeiten ist also kaum möglich. Bei der letzten Untersuchung am 22. August waren beide Leinsorten vollreif. In Übereinstimmung mit den im Versuchsprotokoll verzeichneten Beobachtungen beweisen die Daten über das Höhenwachstum und die Erträge an Trockenmasse das gute Gelingen der Versuche. Noch mehr wie im Freilande hat sich der Ollein im Gefäß hinsichtlich der Substanzbildung und der Nährstoffaufnahme dem Faserlein überlegen gezeigt. Besonders bezeichnend ist wieder die starke Kalkaufnahme des Olleins, während sein Phosphorsäurebedarf in diesem Fall nicht größer war als bei dem Faserlein.

3. Trockensubstanzbildung und Nährstoffaufnahme im Feld- und im Gefäßversuch 1935.

Die Zahl und die Zeit der Ernten und der Einzeluntersuchungen waren im Gefäß andere als im Felde. Um zunächst die relative Substanzbildung im Gefäß mit derjenigen im Feld zu vergleichen, ist es deshalb zweckmäßig, diejenigen Erntetermine hierfür heranzuziehen, bei denen die Feld- und die Gefäßpflanzen ungefähr gleich alt waren. Dies trifft für die 5., 6. und 7. Ernte zu, bei welcher der Altersunterschied 4 bzw. 3 bzw. 0 Tage betrug. Was den Entwicklungszustand zu dieser Zeit betrifft, so waren die bei der 5. Ernte 46 Tage alten Gefäßpflanzen bereits in das Blühstadium eingetreten, während die bereits 50 Tage alten Feldpflanzen kurz davor standen.

In Übersicht 11 und 12 fallen einige Zahlen bei der 6. Ernte von Faserlein und bei der 9. Ernte von Öllein aus der Reihe. Die betreffenden Abweichungen, für die uns eine Erklärung fehlt, werden daher für die Auslegung der Versuche nicht benutzt.

Übersicht 11.

Faserlein 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme. Gefäßversuch.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Datum	1. 6.	7. 6.	13. 6.	19. 6.	24. 6.	28. 6.	5. 7.	29. 7.	5. 8.	22. 8.
Zahl der Tage: Aufgang—Ernte		29	35	41	46	50	57	81	88	105
Trockenmassse . . .	4,5	10,7	23,2	44,8	58,1	64,0	84,1	96,4	96,4	100
Asche	—	16,9	37,2	56,8	63,7	61,2	67,8	76,9	90,9	100
Stickstoff	—	32,3	43,9	68,7	66,0	73,3	85,1	96,1	100	48,0
Phosphorsäure . . .	—	23,9	38,1	54,8	64,8	71,9	73,8	96,7	80,0	100
Kali	—	30,7	48,6	75,0	90,4	85,4	91,5	82,1	100	73,9
Kalk	—	19,7	37,5	65,5	86,3	(64,8)	82,8	86,9	100	98,4
Magnesia	—	21,0	38,8	47,8	75,8	(54,1)	(60,5)	75,2	63,7	100

Übersicht 12.

Öllein 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme. Gefäßversuch.

Wievielte Ernte:	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Datum	1. 5.	7. 6.	13. 6.	19. 6.	24. 6.	28. 6.	5. 7.	29. 7.	5. 8.	22. 8.
Zahl der Tage: Aufgang—Ernte		29	35	41	46	50	57	81	88	105
Trockenmasse . . .	4,9	10,3	20,0	34,2	48,5	57,1	72,0	94,9	78,4	100
Asche	—	11,3	22,1	35,8	44,4	45,5	54,7	79,2	86,3	100
Stickstoff	—	34,7	33,3	60,0	71,0	69,0	84,4	100	78,5	45,8
Phosphorsäure . . .	—	17,6	29,9	44,3	57,5	90,5	77,8	100	(69,7)	94,1
Kali	—	32,2	49,6	73,4	92,1	94,2	100	96,9	(86,6)	98,5
Kalk	—	12,7	23,4	35,3	46,6	53,9	55,9	81,6	(75,0)	100
Magnesia	—	15,0	45,7	42,8	87,9	80,3	75,7	93,1	(82,1)	100

An den fraglichen Ernteterminen wurden bei gleichem Alter der Pflanzen folgende Relativwerte für die Substanzbildung ermittelt.

Bei der Ernte	5.	6.	7.
Faserlein Feld	53	61	69
Faserlein Gefäß	58	64	84
Öllein Feld	52	57	61
Öllein Gefäß	48	57	72

Wir sehen, daß bis zur 6. Ernte, bei einem Alter von 53 Tagen für die Feld- und 50 Tagen für die Gefäßpflanzen der Zuwachs an organischer Masse der gleiche ist, daß aber bei der 7. Ernte die Gefäßpflanzen überlegen sind. Trotzdem haben die Freilandpflanzen das Maximum der Trockenmasse bereits nach 83 Tagen gegenüber 105 Tagen der Gefäßpflanzen gebildet.

In der Aufnahme an Mineralstoffen insgesamt ist im Gegensatz zu der bis zur Blüte fast gleichmäßigen Trocken-

substanzbildung insofern ein starker Unterschied zwischen den beiden Versuchsmethoden vorhanden, als im Gegensatz zu dem, was zu erwarten war, die Relativ-Aufnahme an Aschensubstanz im ganzen im Vegetationstopf stets beträchtlich hinter dem Freiland zurückgeblieben ist, wie sich für beide Leinsorten übereinstimmend bei Betrachtung der Aufnahmekurven als Ganzes und besonders der Aufnahmewerte für gleichaltrige Pflanzen ergibt.

Relativwerte (abgerundet) für Gesamtasche an gleichem Alter:

Bei der Ernte	5.	6.	7.
Faserlein Feld	77	81	82
Faserlein Gefäß	64	61	68
Öllein Feld	61	63	61
Öllein Gefäß	44	45	55

Hiernach sind die Mineralstoffe im Gefäß relativ langsamer aufgenommen worden bzw. die Substanzbildung ist relativ rascher erfolgt als im Felde. Ob letzteres allein durch die allseitige bessere Belichtung und intensivere C-Assimilation der Gefäßpflanzen zu erklären ist oder ob noch andere Faktoren, wie etwa die Art der Nährstoffversorgung, dabei mitgewirkt haben, muß dahingestellt bleiben. Zwecks Nachprüfung der Freilandergebnisse kommt es aber hauptsächlich auf den Vergleich der relativen Aufnahme der einzelnen Nährstoffe an. Zu diesem Zweck sind in Übersicht 13 wieder die Verhältniszahlen gleichaltriger Pflanzen der 5. bis 7. Ernte zusammengestellt.

Wir erkennen bei der 5. Ernte für Stickstoff, Phosphorsäure und zum Teil für Kali einen fast gleichmäßigen Stand der Nährstoffaufnahme gleichaltriger Pflanzen bei beiden Versuchsanstellungen, eine Beobachtung, die durch die vor dem Blühbeginn ermittelten Zahlen ihre Bestätigung findet. Mit dem Fortschritt der Vegetation, also bei der 6. und 7. Ernte, ist jedoch ein Überwiegen der Gefäßernten vielfach unverkennbar. — Bezüglich der Nährstoffe Kalk und Magnesia besagen die zu stark schwankenden Relativwerte für den Vergleich von Feld- und Gefäßversuch nichts befriedigend Klares. Das Hauptergebnis unserer Betrachtung liegt darin, daß im Gegensatz zum Freilande die Gesamtaschen-Aufnahme im Gefäß relativ langsamer verläuft und hinter der relativen Trockensubstanzbildung zeitweise sogar zurückgeblieben ist, daß aber die Nährstoffe Stickstoff, Phosphorsäure und Kali im Gefäß bis zur Blüte nicht langsamer, bei fortschreitender Entwicklung teilweise vielmehr schneller resorbiert werden als im Freilande; das oben festgestellte Zurückbleiben der Auschenaufnahme kann demnach nur auf andere Ionen wie Na, Fe, Si usw. zurückgeführt werden.

Mit obigen Ausführungen ist die besonders interessierende Frage, ob der Gefäßversuch die an Freilandpflanzen gemachten Feststellungen über den spezifischen Verlauf der Aufnahme der

Übersicht 13.

	5.	6.	7. Ernte
		1. Stickstoff	
Faserlein, Feld	61	63	76
Faserlein, Gefäß	66	73	85
Öllein, Feld	68	73	70
Öllein, Gefäß	71	69	84
		2. Phosphorsäure	
Faserlein, Feld	60	63	73
Faserlein, Gefäß	65	72	74
Öllein, Feld	44	49	54
Öllein, Gefäß	58	91	(77)
		3. Kali	
Faserlein, Feld	87	88	87
Faserlein, Gefäß	90	85	92
Öllein, Feld	68	67	66
Öllein, Gefäß	92	94	100
		4. Kalk	
Faserlein, Feld	59	62	78
Faserlein, Gefäß	86	(65)	83
Öllein, Feld	54	54	67
Öllein, Gefäß	49	54	56
		5. Magnesia	
Faserlein, Feld	50	53	68
Faserlein, Gefäß	75	(54)	(60)
Öllein, Feld	46	49	59
Öllein, Gefäß	(87)	(80)	(75)

Nährstoffe bestätigt, mittelbar bereits im bejahenden Sinne entschieden. — In starker Annäherung an den Freilandversuch finden wir also wiederum

a) eine bevorzugte Aufnahme des Stickstoffs etwa bis zum Blühbeginn, dem ein auffallend hoher, in Anbetracht der reichlichen Düngergabe aber wohl erklärlicher Verlust von über 50% zwischen dem Zeitpunkt der Höchstaufnahme und der Reife gegenübersteht. Bei der Annahme, daß es sich dabei um die in der Düngung gegebene Stickstoffmenge von 1 g handelt, ergibt dies eine Ausnutzung dieses Stickstoffs von fast 100%, während in den reifen Pflanzen nur 48% bei dem Faserlein und 46% bei dem Öllein gefunden wurden, wiederum ein überzeugender Beweis für die große Bedeutung des Faktors Zeit bei allen die Nährstoffaufnahme unserer Kulturpflanzen betreffenden Fragen.

b) Es wurde die besonders große und frühzeitige, allen anderen Nährstoffen gegenüber gesteigerte Aufnahme des Kalis, das bis

zur Blüte bereits etwa zu 90% der Höchstmenge in die Pflanze eingewandert sein kann, bestätigt. Am Schluß der Vegetation war nur bei der Eckendorfer Züchtung ein erheblicher Rückgang des Kalis zu verzeichnen. Der Öllein hat dagegen keinen nachweislichen Kaliverlust erlitten.

c) Auch das Zurückbleiben der Phosphorsäure gegenüber den Nährstoffen Stickstoff und Kali wird durch den Gefäßversuch namentlich bei dem Öllein wieder bestätigt; Phosphorsäure-Verluste sind nicht zu verzeichnen.

4. Vergleich des Faserleins und des Ölleins im Gefäßversuch.

Weiter ist noch zu prüfen, ob die bezgl. der Nährstoffaufnahme im Felde gefundenen Unterschiede zwischen Faser- und Öllein auch im Gefäßversuch eingetreten sind. Das Verhalten der beiden Sorten war im Feldversuch insofern verschieden, als bei fast gleichem Verlauf der Substanzbildung der Faserlein abgesehen vom Stickstoff sich die Nährstoffe wesentlich rascher aneignete als der Öllein. — Voraussetzung für einen Vergleich ist auch hier, daß die Ernte und Untersuchung jeweils bei gleichem Entwicklungszustand ausgeführt sind. Daß diese Voraussetzung in unseren Versuchsreihen erfüllt ist, glauben wir bei dem gleichzeitigen Blühbeginn und Eintritt der Vollreife beider Sorten bejahen zu können. Die sonst für den Öllein typisch spätere Reife tritt auch nach unseren sonstigen Beobachtungen unter den Bedingungen des Gefäßversuches nicht voll in Erscheinung. In den Abbildungen 3 und 4 sind die beiden Leinsorten miteinander verglichen. Wir sehen, daß bei nur geringen Unterschieden in der Trockensubstanzbildung der Öllein in der Aufnahme der Mineralstoffe im ganzen (Asche), sowie des Kalkes und anfangs auch der Phosphorsäure hinter dem Faserlein deutlich zurückgeblieben ist, während ein wesentlicher Unterschied im Verlauf der Stickstoffkurven nicht besteht. In diesen Punkten finden wir also eine Bestätigung der Ergebnisse des Feldversuches durch den Gefäßversuch. Abweichend ist das Ergebnis jedoch betreffs der Kaliaufnahme, die im Gefäß bis zur Blüte keinen außerhalb der wahrscheinlichen Versuchsfehler liegenden Unterschied erkennen läßt, während im Felde der Faserlein in der Schnelligkeit der relativen Kaliaufnahme überlegen war.

C. Über die Bedeutung der Nährstoffverluste unserer Kulturpflanzen vor ihrer Reife.

Die bei den vorstehend beschriebenen Untersuchungen gemachten Erfahrungen geben Anlaß, erneut auf die Tatsache, daß manche Pflanzenarten im reifen Zustande weniger Nährstoffe in ihrem Körper enthalten als zu einem vorherigen Zeitpunkte, in dem sie einen besonders kräftigen Grad der Entwicklung erreicht haben, hinzuweisen.

Diese Tatsache ist an sich aus den älteren Untersuchungen längst bekannt. Zuerst wurde sie u. W. von Liebscher festgestellt. So stellte er u. a.

Faserlein
Trockenmasse
Asche
Stickstoff
Oellein
Trockenmasse
Asche
Stickstoff
Stickstoff, Faserlein
Asche, Faserlein
Trockenmasse, Faserlein
Trockenmasse, Oellein
Asche, Oellein
Stickstoff, Oellein
100 95 90 85 80 75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Abb. 3. Gefäßversuch 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme.

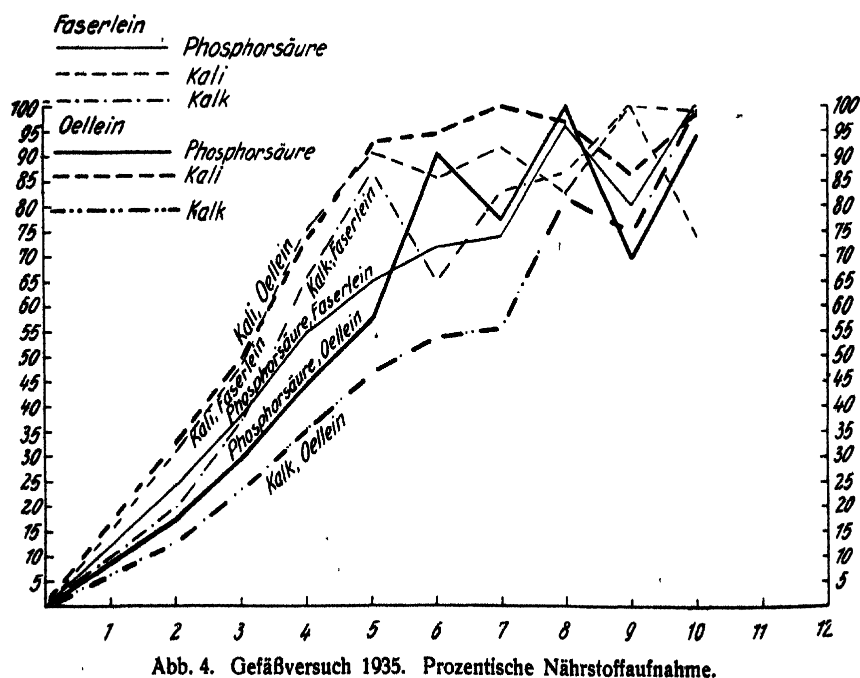


Abb. 4. Gefäßversuch 1935. Prozentische Nährstoffaufnahme.

fest, daß Weizen, Hafer und Gerste z. Zt. der Reife bei Umrechnung auf die Flächeneinheit weniger Nährstoffe enthalten als etwa zur Zeit der Blüte. Durch die Verluste wurde für gewöhlich das Kali am stärksten betroffen, von Kalk und Magnesia ging weniger verloren. So betrug der Kaliverlust im Mittel aller Versuche beim Weizen 25%, bei Hafer 17% und bei einzelnen Versuchen mit Gerste bis zu 38%. Verluste an Stickstoff wurden weniger und an Phosphorsäure gar nicht beobachtet. Durch die späteren Untersuchungen von Wilfarth, Roemer und Wimmer sowie von Pfeiffer und Rippel wurden die Ergebnisse Liebschers bestätigt und insofern noch ergänzt, als nunmehr auch der Stickstoff unter die Verlustnährstoffe mit Sicherheit einbezogen und durch die getrennte Untersuchung von Stroh und Korn der im übrigen naheliegende Beweis erbracht wurde, daß sich die an der Gesamternte festgestellten Verluste lediglich auf das Stroh der Getreidepflanzen erstrecken.

Daß auch die Leinpflanze derartigen Verlusten, und zwar in recht beträchtlichem Maße, ausgesetzt sein kann, wurde in Ergänzung zu den diesbezüglichen Beobachtungen an Getreidearten durch unsere Versuche gezeigt.

Daß man sich bereits in früherer Zeit bemüht hat, die Ursachen dieser unliebsamen Erscheinungen zu ergründen, ist wohl selbstverständlich. Ernteverluste an reifen Pflanzen werden bei der üblichen sorgfältigen Ernte von Versuchspflanzen in der Regel ausgeschlossen sein. Daß sich aber während des Lebens unserer Kulturpflanzen Stengel- und Blatteile in erheblicher Masse bilden können, die bis zur Reife im lufttrockenen Zustande geernteter Pflanzen auf natürliche Weise wieder verschwinden, ist sicher. Man denke an die grundständigen Blätter und an die immerhin zahlreichen Halmanlagen, die sich zu Seitentrieben entwickeln, aber es niemals zur Ährenbildung bringen. Daß derartige Blätter und junge Halme vor dem Abschluß des Lebens der Pflanze wieder zerfallen und die darin enthaltenen Nährstoffe auf diese Weise wieder in den Boden gelangen, kann nicht bezweifelt werden. Ähnliches wird z. B. für rübenartige Pflanzen mit ihrem reichen Blattapparat, der in fast fortwährendem Entstehen und Vergehen begriffen ist, zutreffen. Es ist klar, daß durch die üblichen Untersuchungen reifer Pflanzen diese ehemals im Pflanzenkörper gespeicherten Nährstoffe nicht erfaßt werden. Die früheren Autoren nahmen auch vielfach Rückwanderungen aus den oberirdischen Teilen durch die Wurzel in den Boden an. Als erster hat wohl Th. Pfeiffer auf die Auswaschung der Nährstoffe vor der Reife durch den Regen hingewiesen. Wahrscheinlich kommt diesem Vorgang eine besonders große, wenn nicht die ausschlaggebende Bedeutung (neben den oben erwähnten im Gang der Entwicklung liegenden Verlusten) zu. Interessant ist auch die von K. Arens als kutikuläre Exkretion bezeichnete Ausscheidung von Mineralstoffen (10). Da es sich hierbei aber um Ausscheidungen handelt, die sich während des Wachstums aus dem turgeszenten Blatt vollziehen sollen, haben diese Vorgänge mit den hier in Betracht kommenden Nährstoffverlusten wohl nur wenig zu tun. Im ganzen betrachtet scheint aber das Problem bedeutsam genug zu sein, um durch eingehende Untersuchungen die an bestimmten

Pflanzen überhaupt eintretenden Substanz- und Nährstoffverluste und deren eigentliche Ursachen bei besonderer Berücksichtigung der jeweiligen Witterungsverhältnisse zu erforschen. Zutreffend ist gewiß der seinerzeit von Schneidewind (12) erhobene Einwand, daß diesen Nährstoffverlusten vom Standpunkt der Nährstoffbilanz des Bodens keinerlei Bedeutung zukommt. Daß ihre Erkennung aber für den Nährstoffhaushalt der Pflanzen und dessen Beurteilung sowie überhaupt im Zusammenhange mit den ganzen komplizierten Fragen der Ernährung und Düngung unserer Kulturpflanzen von größter Bedeutung ist, kann nicht in Abrede gestellt werden.

Zusammenfassung.

In den Jahren 1935 und 1937 wurde in Feld- und Gefäßversuchen der Verlauf der Entwicklung, der Trockensubstanzbildung und der Nährstoffaufnahme des Faser- und des Olleins vergleichend untersucht und dabei auch in einer Versuchsreihe die Faserbildung in ersterem verfolgt.

Der Entwicklungsrhythmus, zu dem die Trockensubstanzbildung und die Nährstoffaufnahme in möglichst enge Beziehung zu setzen sind, ist bei den beiden Leintypen bzw. wenigstens bei den zu unseren Versuchen dienenden beiden Sorten bis zum Blühbeginn bzw. bis zur Vollblüte gleich. Die sich anschließende reproduktive Phase (Blüte bis Reife) ist aber bei dem Öltyp zwecks Ausbildung der weit größeren Samen wesentlich länger als bei dem Faserlein. Die längere Entwicklungsdauer des Ölleins beruht also auf seiner abweichenden Entwicklung nach der Blüte.

In Bestätigung der früheren Untersuchungsergebnisse wurde gefunden, daß die Substanzbildung bei dem Faserlein der Aufnahme der Mineralstoffe bis zur Blüte in größerem Abstand folgt. Während bis zum Beginn der Blüte rund 60% der Trockenmasse gebildet werden, beträgt bis dahin die Aufnahme an Mineralstoffen im ganzen und an Kali bereits über 80%, an Stickstoff ungefähr 70%. Die Aufnahme der Phosphorsäure, des Kalkes und in der Regel auch der Magnesia verläuft langsamer, so daß bis zum Blühbeginn etwa 60—70% aufgenommen sind. Bei dem ersten Jugendwachstum der Pflanze ist das Bedürfnis für Stickstoff noch größer als für Kali, doch tritt die Stickstoffaufnahme in ihrer Schnelligkeit anschließend hinter der Kaliaufnahme zurück.

Der so gekennzeichnete Nährstoffaufnahmeverlauf trat in Anpassung an die Entwicklungsphasen des Leins in verschiedenen Vegetationsjahren ein, gleichviel, ob sich die Vegetationsphasen unter dem Einfluß der Witterungsverhältnisse mehr oder weniger verschoben.

Die Nährstoffaufnahme verlief bei dem Öllein prinzipiell ähnlich bzw. gleich wie bei dem Faserlein. Trotzdem traten Sonderheiten insofern in Erscheinung, als bei anfänglich gleicher relativer Substanzbildung der Faserlein dem Öllein in der relativen Nährstoffaufnahme bzw. in deren Schnelligkeit mit Ausnahme des Stickstoffs überlegen war, und daß im ganzen genommen sein Kalkbedürfnis ein geringeres war, während entsprechend der

schnelleren Kaliaufnahme der Gesamtkalibedarf des Faserleins als stärker betrachtet werden kann.

Obgleich bei den Gefäßversuchen mit demselben Boden, der auch in den Feldversuchen zur Verfügung stand, zwischen der Bildung der Gesamttrockenmasse beider Leintypen und der Aufnahme der Mineralstoffe kein so großer zeitlicher Unterschied vorhanden war wie bei den Feldversuchen, sondern sich beide Prozesse in annähernder Übereinstimmung vollzogen, ergab der Gefäßversuch doch die Bestätigung bezüglich der relativen Aufnahme der einzelnen Nährstoffe und der diesbezüglichen Unterschiede, so daß im ganzen betrachtet die Übereinstimmung der mit den beiden Versuchsmethoden gewonnenen Ergebnisse festgestellt werden kann.

Es wurden erhebliche Nährstoffverluste in der reifen Pflanze gegenüber den in einem vorherigen, je nach den Witterungsverhältnissen und der Entwicklung der Pflanzen wechselnden Zeitpunkt gefundenen Nährstoffmengen festgestellt. Am größten waren die Verluste an Kali, demnächst an Stickstoff; teilweise waren auch erhebliche Kalkverluste zu verzeichnen. Die in dieser Hinsicht gefundenen Ergebnisse schließen sich den Befunden, die ältere Autoren bei den Getreidearten bereits gemacht hatten, vollkommen an. Zum Schluß wurde die prinzipielle Bedeutung derartiger Nährstoffverluste für die Beurteilung des Nährstoffhaushaltes und für die Düngung der Kulturpflanzen kurz erörtert, und es wurde auf die Notwendigkeit, die hierher gehörigen Fragen durch eingehende Untersuchungen besser zu klären, hingewiesen.

Schrifttum.

1. Opitz, K.: Die Ernährung und Düngung des Leins. Forschungsdienst, Berlin, **1**, 1936, H. 11, 848.
2. Becker-Dillingen, J.: Handb. d. Hackfruchtbaues u. Handelspflanzenbaues, Berlin, **2**, 1928, 417.
3. Opitz, K.: Siehe 1.
4. Liebscher, G.: Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre, Berlin, **35**, 1887, 335.
5. Wilfarth, H., H. Römer u. G. Wimmer: Über die Nährstoffaufnahme der Pflanze in verschiedenen Zeiten ihres Wachstums. Landw. Versuchsstat. Berlin, **63**, 1906, 1.
6. Pfeiffer, Th., Ch. Pfotenhauer u. A. Rippel: Über den Verlauf der Nährstoffaufnahme und Stofferzeugung bei der Gersten- bzw. Bohnenpflanze. J. Landw., Berlin, **69**, 1921, H. 3, 10.
7. Remy, Th.: Der Verlauf der Nahrungsaufnahme und das Düngerbedürfnis der Kulturgewächse. Ernähr. d. Pflanze, Berlin, **27**, 1931, H. 14, 301.
8. Jakobey, J.: Die Nährstoffaufnahme der Ölleinpflanze (ungar.). Ref. im Forschungsdienst, Berlin, **2**, 1936, 200.
9. Tariman, M. Celâl: Beiträge zur Beurteilung des Leins als Faserpflanze auf landwirtschaftlich-botanischer Grundlage. Diss. Univ. Berlin, Berlin, 1937.
10. Boguslawski, E. v.: Der Einfluß des Reaktions- und Kalkzustandes des Bodens auf die Ertragsleistung von Lein. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **6**, 1938, H. 3/4, 209.
11. Arens, K.: Die kutikuläre Exkretion des Laubblattes. J. wiss. Botanik, 1934, 248.
12. Schneidewind, W.: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. 6. Aufl., J. Parey, Berlin, 1928, 125.

Variationen des Kaliumgehaltes in der Asche der Leinpflanze im Lichte neuerer biochemischer Erkenntnisse.

Von **Vladimír Kyzlink.**

Aus der Anstalt für Agrikulturchemie
an der tschechischen landwirtschaftlichen Hochschule in Brünn.

Eingegangen: 13. April 1939.

Das Kalium nimmt durch seine außergewöhnliche Wirkung auf bedeutungsvolle Lebensvorgänge der Pflanzen, hauptsächlich als ein Faktor bei der Assimilation der Kohlensäure und als Anionenüberträger (1), eine der hervorragendsten Stellen unter allen anorganischen Nährstoffen ein. Besonders für den Lein ist das Kalium, wie schon öfters von Theoretikern und Praktikern (vgl. 2 und 3) festgestellt wurde, ein wichtiger Nährstoff zur Erzielung einer guten Qualität der Faser und des Öls.

Die folgenden Ausführungen sollen zur Klärung der Frage nach der Kaliaufnahme durch Leinpflanzen dienen, andererseits aber auch die Änderungen des K_2O-Gehaltes in der Asche verschiedener Pflanzenteile bei wechselnden Modifikationen der Mineralstoffernährung feststellen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurden einige Erkenntnisse über die Aufnahme von anorganischen Nährsalzen durch Pflanzen, wie sie zum größten Teil Lundegårdh (1) zusammenfaßte, zugrundegelegt, die durch eigene analytische Studien über den Gehalt an einzelnen Aschebestandteilen in den Leinpflanzen erweitert wurden (5, 6).

Es ist hierbei zuerst auf einige der wichtigsten Umstände hinzuweisen, welche die Nährstoffaufnahme aus der Bodenflüssigkeit durch Wurzelzellen beeinflussen. Durch diese Wurzelzellen müssen bekanntlich alle Salze oder Ionen wandern, bevor sie zu den Leitungsbahnen der Pflanze gelangen, die sie ihrer Bestimmung in den oberirdischen Pflanzenorganen zuführen.

Für die Aufnahme der Salze oder ihrer in der Lösung dissoziierten Bestandteile oder Ionen durch lebende Zellen (besser durch „lebende Kolloide"), gelten, wenigstens in groben Umrissen, die gleichen allgemein bekannten kolloid-chemischen Gesetze wie für ihre Sorption durch nicht lebende Kolloide.

Im Lichte dieser Erkenntnis tritt für die Aufnahme eines bestimmten Nährstoffes die Bedeutung seiner Konzentration in der Bodenflüssigkeit in den Hintergrund. Wichtiger erscheinen einige andere, meistens physikalisch-chemische Faktoren, die nicht nur durch die Eigenschaften und durch die verhältnismäßig quantitative Vertretung aller in dem Medium enthaltenen Ionen gekennzeichnet sind, sondern auch durch die Eigenschaften des Mediums — d. h. des Bodens — und durch das eigene Sorptionsvermögen des Pflanzenplasmas bestimmt werden.

Bei zahlreichen Versuchen verschiedener Forscher spielt daher die Art und die Kraft der elektrischen Ladung des Ions (4), um dessen Aufnahme es

sich handelt, sowie der übrigen in der Bodenflüssigkeit vertretenen Ionen eine bedeutungsvolle Rolle. Diese Eigenschaften bestimmen einerseits die Kraft, mit der ein Ion beim Durchdringen des Plasmas von den Kolloiden angezogen und dadurch in seinem Lauf gehemmt wird, andererseits beeinflussen sie den Dispersitätszustand der plasmatischen Kolloide und dadurch ihre Fähigkeit, Teilchen von bestimmter Größe durchzulassen. Außerdem sind sie maßgebend für die Stärke der Wasserhülle des Ions, die sein Durchdringungsvermögen bei direkter „Ultrafiltration" zu hemmen vermag. Diese Verhältnisse zeigen unter anderem, daß die Ionen sich gegenseitig in ihrem Durchdringungsvermögen durch das Plasma beeinflussen können. So hemmen z. B. die schwer durchdringenden mehrwertigen Kationen ($Al^{\cdot\cdot\cdot}$, $Ca^{\cdot\cdot}$) schon in verhältnismäßig kleinen Mengen die Aufnahme von leicht beweglichen einwertigen Ionen ($K^{\cdot}$), und zwar um so mehr, je mächtiger die sie umgebende Wasserhülle ist. Die hemmende Wirkung ist auch um so wirksamer, je höher die Konzentration der hemmenden Ionen in der Bodenflüssigkeit oder die sog. innere Konzentration dieser Ionen in dem Pflanzengewebe ist. Die Ionen können aber auch ihr Durchdringungsvermögen wechselseitig fördern. So kann z. B. das leicht bewegliche Kation ($K^{\cdot}$) die Diffusion der nicht leicht durchdringenden Anionen SO_4'' beschleunigen (1) und umgekehrt wird die Aufnahme von Kationen durch bewegliche Anionen NO_3' gefördert.

Unter den für die Nährstoffaufnahme maßgebenden Einflüssen der Bodeneigenschaften wirkt die Bodenadsorption zugunsten der weniger festgehaltenen einwertigen Ionen. Die saure Bodenreaktion fördert die Anionenresorption, wogegen die alkalische die Kationenaufnahme begünstigt. Das Pufferungsvermögen des Bodens ermöglicht daher eine willkürlichere Auswahl von Nährstoffen.

Es wird angenommen, daß die Nährstoffaufnahme im Zusammenhang mit einer möglichst geringen Energieabgabe der Pflanze vor sich geht. Die Pflanze nimmt daher, solange sie nicht durch abnormale Verhältnisse dazu gezwungen wird, aus der Bodenflüssigkeit keine einzelnen Ionen auf, wenn sie zu ihrer Sorption entweder im Protoplasma bei Energieverlust ein elektrisches Potenzial bilden muß, oder wenn sie für die aufgenommenen Ionen andere, gleich geladene austauschen muß[1]). Das heißt also: die Pflanze nimmt „Ionenpaare" (Kation und Anion) auf, bei deren Resorption keine überflüssigen Verluste und Schwierigkeiten entstehen (1). Die Paare werden aus den in der Lösung dissozierten Ionen frei kombiniert, je nachdem, wie sie in die Zellen einzudringen und durch das Plasma durchzutreten vermögen.

Der Unterschied zwischen dem lebenden Plasma und den nicht lebenden Kolloiden äußert sich bei der Nährstoffaufnahme, wie Lundegårdh annimmt, hauptsächlich darin, daß das Protoplasma die bisher unaufgeklärte Fähigkeit besitzt, ein doppeltes Potentialgefälle — eins gegen die Außenlösung und eins gegen den Zellsaft — zu bilden und in Betrieb zu erhalten (1). Diese aktive Tätigkeit des Protoplasmas ermöglicht es der Pflanze, der Nährlösung, d. h. der Bodenflüssigkeit, Ionen zu entnehmen, die durch den Zellsaft in die oberirdischen Teile des Pflanzenkörpers transportiert werden.

Der Versuch und seine Ergebnisse.

Die Frage der Resorption und der Verteilung des Kalis in der Leinpflanze sollte auf Grund von Analysenergebnissen an Samen, Stengel mit Blättern und Wurzeln des Olleins „LaPlata" gelöst werden. Zu diesem Zwecke wurden Gefäßdüngungsversuche angestellt, bei deren Anlage, Verlauf und Ernte der reifen Pflanzen alle üblichen nötigen Voraussetzungen beachtet wurden.

Die Beschreibung dieses Versuches sowie eine Mitteilung über die Aschenanalysen und ihre Ergebnisse finden sich an anderer

[1]) Die energetische Seite der Ionenaufnahme wird in neueren Arbeiten auch anders erklärt. Siehe z. B. Literaturverzeichnis Nr. 7.

Stelle (5 und 6). Hier sei nur hingewiesen auf die angewandten Dünger und die Nährstoffe sowie ihre Kombinationen, soweit dies zum Verständnis der weiteren Ausführungen nötig ist.

Der gewählte Versuchsboden war sehr nährstoffarm, um so die Wirkungen der Düngemittel besonders gut studieren zu können. Als Quelle der Stickstoffernährung wurde Chilesalpeter benutzt. Phosphorsäure wurde den Pflanzen als Superphosphat und Kali in Form von reinem Kaliumchlorid und Kaliumsulfat gegeben. Die Kalkdüngung erfolgte durch rein gefällten kohlensauren Kalk. Das Mengenverhältnis der Nährstoffe N:P:K war 1:2:2, 2:2:1 bzw. 2:1:2. Die Düngergaben wurden so gewählt, daß bei schwächerer Düngung 0,5 g und bei stärkerer Düngung 1,0 g N, P_2O_5 oder K_2O auf 6 kg der Bodentrockensubstanz kam. Das entspricht bei normaler Wasserkapazität von 60 % etwa einer Menge von 0,15—0,30 g des Nährstoffes pro 1 Liter der Bodenflüssigkeit. Bei der Düngung mit Kalziumkarbonat wurden für je 6 kg der Bodentrockensubstanz 6 g dieses Düngers verwendet.

Die benutzten Nährstoffkombinationen und -verhältnisse sind aus der folgenden Tabelle 1 zu ersehen. Hier ist auch der Kaligehalt in der Asche der einzelnen Pflanzenteile in Prozenten angegeben.

Tabelle 1.

Prozentgehalt an K_2O in der Asche der Leinpflanze bei verschiedener Düngung.

Düngung		100 g der Asche enthalten g K_2O		
Nährstoff-kombination	Verhältnis N:P:K	in Samen	in Stengeln	in Wurzeln
Ungedüngt	— —	28,36	29,61	18,73
NP	1:2:2	26,03	28,77	16,30
NPK	1:2:2	24,36	33,88	19,38
NP	2:2:1	24,77	27,00	9,57
NPK	2:2:1	29,64	30,45	8,50
NP	2:1:2	23,71	27,24	12,26
NPK	2:1:2	29,54	29,95	8,86
N	1:2:2	25,67	28,74	10,88
P	1:2:2	29,61	28,01	20,07
K	1:2:2	31,97	29,15	23,72
PK	1:2:2	33,47	27,03	23,06
NK	1:2:2	24,35	32,47	16,67
NPKCa	1:2:2	24,92	32,71	18,44
Ca	1:2:2	31,80	25,63	17,24

Die Auswertung der Versuchsergebnisse.

Die in Tab. 1 angeführten Zahlen und das dazu gehörige Diagramm lassen erkennen, daß der Kaligehalt in der Asche und seine Verteilung in den einzelnen Pflanzenteilen in erster Linie durch die Nitratdüngung beeinflußt wurde. Wir finden einen sehr niedrigen Kaliumgehalt (8 bis 12 %) in den Wurzeln, wenn

die Pflanzen entweder mit starken Stickstoffgaben gedüngt wurden oder wenn zumindest die Konzentration des NO_3-Ions in der Bodenflüssigkeit die des K-Ions überwog. Das trifft zu für eine Düngung mit zweifacher N-Gabe, oder für einseitige Stickstoffdüngung. Höhere Mengen an K_2O (16 bis 20% in der Asche) finden wir in Pflanzen, die in einem Medium aufgewachsen sind, in dem das Kali den Stickstoffgehalt überwiegt (N : K = 1 : 2) oder in welchem weder mit N noch mit K gedüngt wurde. Der höchste Gehalt (22 bis 24% der Asche) wurde in Pflanzen festgestellt, die entweder nur mit Kali oder mit diesem Nährstoff in Verbindung mit Superphosphat ernährt waren. Man findet daher, wie auch weiterhin zu erkennen sein wird, eine ähnliche Abhängigkeit, wie sie Lundegårdh bei Hafer festgestellt hat, daß nämlich bei steigender Konzentration von Nitrat im Boden der Kaligehalt in den Wurzeln sinkt, während er in den Stengeln und im Samen steigt. Diese Abhängigkeit ist auf Grund neuerer, von dem genannten Autor zusammengefaßter Erkenntnisse über die Beziehung des NO_3-Ions zum K-Ion bei der Nährstoffaufnahme folgendermaßen zu erklären:

Diese beiden Ionen sind sehr beweglich und dringen leicht durch die plasmatische Membran. Wenn sie im Nährmedium enthalten sind, so treten sie nicht nur in Form von KNO_3 gemeinsam als „Paare" leicht in das Wurzelgewebe ein, sondern sie wandern sogar weit schneller und leichter durch die Pflanze als in Verbindung mit den meisten anderen Ionen. Infolgedessen führen die NO_3-Ionen, die die Kationenaufnahme, also in erster Reihe $K^{\cdot}$, aber auch $Ca^{\cdot\cdot}$ und $Mg^{\cdot\cdot}$, durch die Wurzelzellen unterstützen, aus diesen das schnell bewegliche Kalium in die oberirdischen Pflanzenteile ab, und zwar um so intensiver, in je größerer Konzentration NO_3 vorhanden ist. Das in die Stengel eintretende Kalium wird hier und evtl. auch im Samen angehäuft und kann in den mit Nitrat stark gedüngten Pflanzenwurzeln nicht in gleicher Weise durch eine weitere Nährstoffaufnahme aus dem Boden ersetzt werden, wahrscheinlich deswegen, weil der erhöhten Kaliumresorption seine Antagonisten im Wege stehen, die ihm den Eintritt in die Zellen verwehren. Hierfür kommen hauptsächlich das Kalzium, das Magnesium sowie auch andere mehrwertige, sehr fest von Kolloiden adsorbierte Kationen in Frage, die die Pflanzenorgane langsam durchdringen und sich in den Wurzeln älterer Pflanzen anhäufen (1). Deshalb sinkt — wie durch vergleichende Analysen ausgewachsener und junger Pflanzen festgestellt wurde — die Aufnahme und auch der relative Gehalt an Kalium in den Pflanzen um so mehr, je länger die Vegetation dauert (8), d. h. also, je höher der Gehalt an CaO in den Wurzeln ist.

Für die Praxis ist es daher wichtig, das Kalium den jungen Pflanzen in leicht zugänglicher Form und in hinreichendem Ausmaße zu geben, wobei seine Wichtigkeit für junge Entwicklungsstadien bei der Kohlensäureassimilation, bzw. bei der Bildung neuer wachsender Organe nicht außer Acht gelassen werden kann. Wie unsere

Betrachtung erläutert, muß dieser Grundsatz, insbesondere bei gleichzeitiger Nitrat-Stickstoffdüngung, besonders beachtet werden, da, wie bereits angedeutet wurde, in diesem Falle die Aufnahme bzw. die Aufspeicherung der Kationen in den Wurzeln begünstigt wird, die die Resorption des Kaliums hemmen. Dies geschieht in bestimmten Fällen um so intensiver, je größer der NO_3'-Gehalt in der Bodenflüssigkeit ist. Enthält der Boden nicht rechtzeitig eine genügende Menge an Kalium — in unserem Versuch bei N- und NP-Düngung — das infolge seines schnellen Eintritts als KNO_3 in die Pflanze imstande wäre, diesen hemmenden Einflüssen zu begegnen, wird seine Resorption in der späteren Vegetationsperiode bedeutend erschwert. Dadurch sinkt auch der Gehalt an K_2O in den oberirdischen Pflanzenteilen (siehe Tabelle 1 und folgende), wodurch sicherlich nicht nur die Bildung der Pflanzenmasse, sondern — wie wir bei anderer Gelegenheit wahrnehmen werden — auch die Bildung der Pflanzenreservestoffe ungünstig beeinflußt wird.

Werden die Pflanzen mit Stickstoff und Kalium so ernährt, daß die Bodenflüssigkeit verhältnismäßig viel NO_3' und gleich viel oder weniger $K^{\cdot}$ (Düngung N:P:K=2:2:1 und 2:1:2) enthielt, so wurde bemerkenswerterweise viel Kalium aus anderen Pflanzenteilen in die Samen abgelagert, und zwar wahrscheinlich erst zu Ende der Vegetation, wobei in den Wurzeln nur minimale Mengen von Kali verblieben. War aber das Kalium im Vergleich zum Stickstoff im Überschuß vorhanden oder bei Gegenwart von verhältnismäßig wenig NO_3' (bei NPK=1:2:2, NK und NPKCa-Düngung), so wurde eine überraschend große Menge an Kalium in der Asche der Stengel ermittelt, während die Samen sehr kaliarm waren (siehe Diagramm). Da in diesen Fällen ein verhältnismäßig hohes Quantum an K_2O in den Wurzeln eingelagert blieb, kann man annehmen, daß die niedrige NO_3'-Konzentration in der Bodenflüssigkeit bzw. im Zellsaft nicht imstande ist, so große Kaliummengen aus den Wurzeln in die Stengel und von dort in die Samen zu transportieren, wie sie bei der vorangehenden Versorgung der schnell wachsenden Stengel zur Aufspeicherung einer erheblichen Menge von Kationen im Samen erforderlich sind.

Der hohe Gehalt an K_2O (23 bis 24 %) in der Wurzelasche von Lein, der entweder einseitig mit Kali oder mit Kali in Verbindung mit monobasischem Kalziumphosphat gedüngt war, kann damit erklärt werden, daß das bewegliche K-Ion zwar ziemlich leicht als KCl, als KH_2PO_4 oder evtl. als K_2SO_4 in das Wurzelgewebe eindringt, daß jedoch im Innern der Pflanze die Beweglichkeit dieser „Ionenpaare" im Vergleich zu der Beweglichkeit von KNO_3 bedeutend begrenzt ist (1). Das Kalium häuft sich dann bis zu einer bestimmten Menge in den Wurzeln an, während sein Gehalt in den Stengeln erheblich sinkt.

Die löslichen Kalziumsalze und die freien Ca-Ionen der Bodenflüssigkeit bzw. des Zellsaftes üben gewiß auch je nach

ihrer Konzentration einen bedeutenden Einfluß auf die Assimilation von Kalium durch die Pflanzen und auf seine Beweglichkeit in den Geweben aus[2]). Es handelt sich gewöhnlich um ein vermindertes Durchdringungsvermögen des Kaliums in das mit Kalzium überschwemmte Gewebe, das, wie bereits erwähnt wurde, aus den bekannten Gesetzmäßigkeiten über den Antagonismus der Ionen hervorgeht. Der hemmende Einfluß von Ca macht sich nicht nur in den Wurzeln, sondern auch in den mit Monokalziumphosphat einseitig gedüngten Stengeln bemerkbar (Düngung P und PK). Das in die oberirdischen Teile der jungen Pflanze geleitete Ca erhöht hier zwar übermäßig den Gehalt an Kalzium und Phosphor, verhindert aber den Eintritt von genügenden Kalimengen in die Assimilationsorgane, wodurch das Wachstum der Pflanze leidet. Bemerkenswert ist diese Erscheinung in unserem Falle besonders bei der PK-Düngung. Hier sinkt der Prozentgehalt von K_2O in der Stengelasche tiefer als bei Pflanzen, die mit Kalium überhaupt nicht gedüngt waren, also bei O, N, P und NP-Düngung. Ähnliche Abhängigkeiten sind auch bei der Ca-Düngung zu erkennen. Diese Beziehungen werden durch die Tabellen 1 und 2 und durch das Diagramm erläutert.

Tabelle 2.

Die Gesamt-Trockensubstanzernte und der Gehalt an CaO, P_2O_5 und K_2O in der Stengelasche von verschieden gedüngten Pflanzen.

(Verhältnis N : P : K = 1 : 2 : 2.)

Düngung	NP	NPK	PK	Ca
Pro Gefäß wurde an Trockensubstanz geerntet in g	28,35	32,10	7,69	8,49
In der Asche gefunden % CaO	13,63	12,25	16,10	16,22
% P_2O_5	3,16	3,48	9,47	12,12
% K_2O	28,77	33,88	27,03	25,63

Das assimilierte KCl und besonders KH_2PO_4 verbleibt dann, wie schon früher erläutert wurde, teilweise in den Wurzeln angehäuft, zum Teil wird es aber in die Samen transportiert. Hier können die von der Pflanze in ihren unteren Teilen zurückgehaltenen mehrwertigen Kationen seine übermäßige Anhäufung nicht verwehren. Das beweist die Analyse der Samenasche, die bei den mit PK, K und Ca gedüngten Pflanzen besonderen Reichtum an K_2O zeigt.

[2]) Hiermit ist nicht der sogenannte Basenaustausch gemeint, bei dem das Kalzium unter gewissen Umständen das durch den Boden adsorbierte Kalium in die Bodenflüssigkeit freiläßt, es für die Pflanze leicht aufnehmbar macht und diese dadurch an Kali anreichern kann. Durch die Aschenanalysen von Leinstengeln habe ich z. B. festgestellt, daß die Asche der Pflanzen, die auf kalkarmen Böden aufgewachsen sind, regelmäßig an Kalium ärmer waren — um 15 bis 20% des Gesamtgehaltes an K_2O — als die Asche von kalkreichen Böden.

Wird den Leinpflanzen mit dem Superphosphat oder Kalzium zugleich auch Salpeterstickstoff und Kali (NPK, NPKCa — siehe Tabelle 1) verabreicht, dann wird das Kalium von den Pflanzen als gut bewegliches KNO_3 aufgenommen, überschwemmt die schnell wachsenden oberirdischen Organe und verhindert hier den Eintritt des langsam beweglichen Kalziums, dessen Hauptmenge in den Wurzeln festgebunden ist. Die übrige, verhältnismäßig kleine Menge an Ca-Ionen ist in diesem Falle nicht imstande, aus den

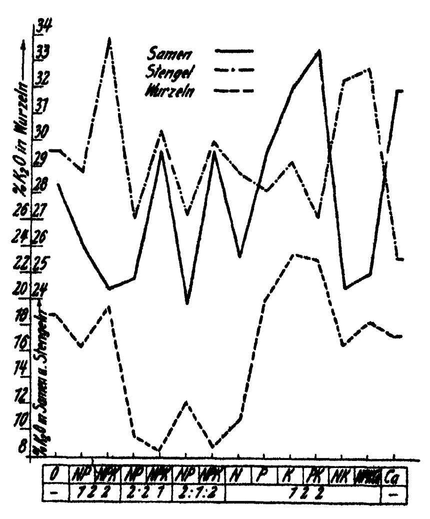


Abb. 1.
Kaligehalt in der Leinasche.

Adsorptionsverbindungen des Stengelplasmas die mehrfache Menge des Kaliums zu verdrängen, auch, wenn es nicht festgebunden ist.

Bei dem Vergleich des K_2O-Gehaltes der Asche der oberirdischen Pflanzenteile von verschieden gedüngten Pflanzen finden wir folgendes:

Die Stengel der mit Nitrat und Kali gedüngten Pflanzen enthalten erheblich mehr K_2O als die Pflanzenstengel, denen der eine oder andere Nährstoff nicht geboten wurde, besonders wenn das Kalium in der Bodenflüssigkeit gegenüber dem Nitrat ein verhältnismäßig großes Übergewicht zeigte.

Der Same erscheint als Reservoir für das Kalium, das die Pflanze in den Stengeln und Blättern infolge des Widerstandes des hier in größerer Menge zugeführten Kalziums (bei P, PK und Ca-Düngung) nicht unterbringen kann. In den Samen wird auch das überflüssige Kalium (bei einseitiger K-Düngung) gespeichert oder in geringerem Maße, bei Überschuß von NO_3, das sehr bewegliche Kalium (Düngung N:P:K = 2:2:1 und 2:1:2). Bei der Stickstoffdüngung ohne Kali und bei der Düngung mit verhältnismäßig niedrigerem NO_3-Gehalt — in bezug auf K —

blieb der Gehalt an K_2O in der Samenasche, wie schon gesagt wurde, ziemlich niedrig.

Diese Beziehungen sind vom biologischen Standpunkt aus zweckmäßig, weil die Pflanze ihre Samen — die Lebensträger — mit diesem wichtigen Kation um so besser versorgt, in je ärmeren und unnatürlicheren Verhältnissen sie leben muß.

Zusammenfassung.

Auf Grund moderner Erfahrungen über die Nährstoffaufnahme der Pflanzen lassen sich aus den Analysen der Samen, Stengel und Wurzeln verschiedenartig gedüngter Leinpflanzen Erkenntnisse über die Resorption und Verteilung des Kaliums im Lein ableiten.

Da das Kalium neben seiner großen Wichtigkeit für die Pflanzenphysiologie besonders auch eine große Bedeutung für die Ernte und Qualität der Leinprodukte Faser und Öl hat, ist es vom praktischen Standpunkt aus gesehen notwendig, das Wichtigste der festgestellten Beziehungen noch einmal zu betonen:

1. Der Nitratstickstoff fördert die Resorption von Kalium und seine Beförderung aus den Wurzeln in die oberirdischen Pflanzenteile, so daß die Verteilung des Kaliums in Stengel und Samen gleichmäßiger ist, wenn die Nitrat-Ionen gegenüber den Kalium-Ionen in der Bodenlösung im Übergewicht vorhanden sind, als wenn das Verhältnis beider Nährstoffe umgekehrt ist. In diesem Falle häuft sich eine große Menge des Kaliums auf Kosten der Samen in den Stengeln an.

2. Ähnlich wie es bei anderen Pflanzen nachgewiesen wurde, hemmt das Kalzium im Lein den Eintritt des Kaliums in die Gewebe, in denen Ca in größerer Menge vorhanden ist. Dieser Antagonismus tritt besonders in den Pflanzenwurzeln auf, in denen sich das schwer bewegliche Kalzium entweder infolge der fortgeschrittenen Vegetationsperiode oder infolge intensiverer Nitratdüngung anhäuft.

3. Bei einseitiger Düngung ohne Nitratstickstoff zeigte sich zwar ein hoher Kaligehalt in den Wurzeln und Samen, dagegen ein sehr niedriger in den Assimilationsorganen; gleichzeitig war ein hoher Gehalt an CaO in den Stengeln und Blättern zu beobachten. Dieser Zustand ist wahrscheinlich damit zu erklären, daß die Durchlässigkeit des Kaliums durch das Pflanzenplasma in diesem Falle gehemmt wird, wodurch die Bildung der Pflanzenmasse gehemmt wird.

4. Nach genauerem Studium dieser Beziehungen durch Feldversuche wäre es vielleicht möglich, durch einfache Modifikationen der Nährstoffzuführung bei entsprechenden Bedingungen den Lauf des Nährstoffes K_2O in jene Organe zu dirigieren, in denen zu einer gesteigerten Produktionsleistung eine größere Menge erforderlich ist.

Schrifttum.

1. Lundegårdh, H.: Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Fischer, Jena, 1932.
2. Trnka, R., F. Macalik u. L. Praskač: Der Anteil des Kali-Ions bei der Fettbildung im Leinsamen. Publikationen des I. Kongresses für Handelsdünger in Rom 1938, Brünn 1938.

3. Schmalfuß, K.: Über den Einfluß des Kaliums und der Kalisalzanionen auf Ausbildung der Faserzellen des Leins. Die Ernährung der Pflanze, Berlin, 6, 1938, 100.
4. Ehrenberg, P.: Die Bodenkolloide. Steinkopff, Dresden 1922.
5. Kyzlink, V.: Vliv umělé výživy na složení popele a na obsah dusíku v olejném lnu. Der Einfluß der künstlichen Ernährung auf die Aschezusammensetzung und auf den Stickstoffgehalt in Ollein. Chemický obzor, Prag, 1, 1939, 6.
6. Kyzlink, V.: Vliv umělé výživy, na chemické složení semene, stonků a kořenů olejného lnu. Einfluß der künstlichen Ernährung auf die chemische Zusammensetzung der Samen, Stengel u. Wurzel des Olleins. Diss. Brünn 1938.
7. Teorell, T.: Studies on the diffusion effect upon ionic distribution. II. Experiments on ionic accumulation. J. Gen. Physiol., 21, 1937, 107.
8. Vrbenský, V.: Len. Der Lein. Český odhor zemědělské rady (Tschech. Landeskulturrat), Prag, 1936. [297]

Die Wechselwirkung der Nährstoffe Kalium und Kalzium in ihrer Abhängigkeit von der Kulturpflanze, dargestellt an Hafer und Lein*).

Von **Egon Penner.**

Aus dem Institut für Agrikulturchemie der Universität Königsberg, komm. Direktor Prof. Dr. Ungerer.

Eingegangen: 23. März 1939.

Schrifttumsbesprechung.

Als empfindlich gegen Kalk wird in der Literatur der Lein genannt. Schon auf dem internationalen Kongreß der Flachsinteressenten in Wien im Jahre 1873 sprach man sich gegen eine direkte Kalkung zu Lein aus (1). Es sollte nach den Ausführungen von Fr. L. Giersberg (2) bei Vornahme einer Kalkdüngung vor Anbau des Leins zur Bildung eines Überschusses löslicher Kalksalze kommen, die eine nachteilige Wirkung hätten, zumal der Kalk bei einer Düngung gewöhnlich in großen Mengen den Pflanzen dargeboten würde. Er fügt allerdings hinzu, daß da, wo es dem Boden an Kalk mangele, die Zufuhr von Kalk von Nutzen, ja sogar nötig sei. Unter anderem hätte auch die Chemie nachgewiesen, daß eine Kalkdüngung das Kali im Boden zum Vorteil der Leinpflanze beweglich mache. Im Zusammenhang damit empfiehlt er häufig die Anwendung von Holzasche. Auch er erkennt damit eine mäßige Kalkempfindlichkeit des Leins an, betont aber die Vorteile einer ausreichenden Kaliversorgung bei dieser Pflanze. Bemerkenswert ist, daß nach den sehr eingehenden Literaturstudien Ehrenbergs (3) die Kenntnis hiervon sogar bis auf die Zeit vor Liebig, nämlich auf den viel zu wenig beachteten großen Forscher C. Sprengel (1839) zurückgeführt werden kann. Dieser brachte bereits die Empfindlichkeit der Leinpflanzen für Kalkverbindungen mit dem unter diesen Verhältnissen leicht eintretenden Mangel an Kali in Zusammenhang (4), während A. Rüfin (5) sich dahin äußerte, so wenig dem Lein Kalkdüngung zusage, so förderlich sei ihm der Gips. Bisweilen trifft man allerdings auf eine gegenteilige Ansicht. So erhebt z. B. Mahaux (6) auf Grund der Leinanbauverfahren in Luxemburg die Forderung, den für Lein bestimmten Boden mindestens ein Jahr vorher zu kalken. Diese Ansicht steht in krassem Widerspruch zu der von A. von Rosenberg-Lipinski erwähnten allgemeinen Behauptung, der Anbau von Lein auf gemergelten Lande sei unzulässig. Auch Nolte betont, anknüpfend an die langjährigen Erfahrungen von R. Heinrich (7), daß der Lein neben Stickstoff wesentliche Ansprüche an die Versorgung mit Kali stelle. P. Wagner (8) reiht den Lein auf Grund zahlreicher Untersuchungen bezüglich seiner Aneignungsfähigkeit

*) Diss. 1939, Universität Königsberg.

für Kali zwischen Roggen und Weizen. Weiter ist bei Ehrenberg zu lesen, daß auch A. Lohmeyer (1891) hervorhebt, daß Kalk und stark kalkhaltige Böden für Flachs sich nicht eignen, während die Erfolge einer Kalidüngung von sehr vielen Seiten lebhaft gerühmt werden. Auch G. Ville, Paris (1894) nennt den Lein stark kalibedürftig und F. Arndt berichtet 1898 von Mißlingen der Leinkulturen auf dem sächsischen Staatsgut Wingendorf wegen Kalimangel, weil mit Kalk überreichlich, mit Phosphorsäure sehr reichlich, mit Kali dagegen schwach gedüngt wurde. Aus all diesen Feststellungen geht hervor, daß auch schon früher Schädigungen durch starke Kalkgaben beobachtet werden. Ob nun diese, wie bereits Sprengel angedeutet hat, und wie es im Ehrenberg'schen Kali-Kalkgesetz bestätigt wird, auf verminderte Kaliaufnahme infolge einseitiger Kalkdüngung zurückgeführt werden müssen oder anderen Ursachen zuzuschreiben sind, wurde Gegenstand vieler neuerer Untersuchungen. Doch damit werde ich mich im Zusammenhang mit der Besprechung meiner Untersuchungen ausführlicher befassen.

Versuchsplan.

Dem Versuch lag die Absicht zugrunde, die zeitliche Nährstoffaufnahme beim Lein, soweit sie zur Klärung der Physiologie des Leins beitragen konnte, im Rahmen unserer Verhältnisse vorzunehmen, um dann beim Vergleich mit Hafer auf einige Abweichungen aufmerksam machen zu können.

Der Versuch wurde in Mitscherlichgefäßen durchgeführt. Als Versuchspflanze diente Lein Hochzucht Daros I und als Standardpflanze Siegeshafer. Um einerseits möglichst unbeeinflußte Ergebnisse zu bekommen, wurden 400 Töpfe mit 7 kg nährstofffreiem Hohenbockaer Glassand gefüllt, andererseits aber, um die Beziehungen auch auf den gewachsenen Boden übertragen zu können, mußte natürlicher Boden herangezogen werden. Es wurde ein schwerer Lehmboden gewählt mit einem Kolloidtongehalt von 13% (nach der Zentrifugiermethode Teilchengröße $< 0{,}2\,\mu$) und einem Gehalt von 18 mg K_2O und 2,6 mg P_2O_5 nach Neubauer. Der Kalkgehalt betrug 1,76% $CaCO_3$. Die Reaktion war fast neutral (pH = 6,9). Dieser Boden wurde im Verhältnis 1:3 mit Hohenbockaer Glassand gut durchgemischt und dann jeder Topf mit 7 kg gefüllt. Dazu wurde eine Grunddüngung von 1 g N als $NaNO_3$ und 1 g P_2O_5 als Na_2HPO_4 und NaH_2PO_4 zu gleichen Teilen gegeben. Die Differenzdüngung erfolgte zunächst als KCl und K_2SO_4 im Verhältnis 1:1 und als $CaCO_3$ nach dem in Tabelle 1 dargestellten Plan.

Tabelle 1.

Sandsversuche						Bodenversuche					
K_2O	0,5 g	1,0 g	2,0 g	3,0 g	4,0 g	K_2O	0,5 g	1,0 g	2,0 g	3,0 g	4,0 g
$CaCO_3$ g						$CaCO_3$ g					
0						0					
6						12					
12						24					
24						48					
48						96					

Dabei ist hinzuzufügen, daß die Gaben 3,0 g und 4,0 g K_2O in zwei Teilen verabfolgt wurden, nämlich als K_2SO_4 und KCl in Höhe von je 1 g K_2O vor der Einsaat, der Rest als KCl nach Ausbildung des vierten Blattes beim Hafer am 8. Juni und beim Lein am 22. Juni 1938. Die Gabe in Form von KCl wurde absichtlich gewählt, um die Kaliaufnahme anzuregen. Zu dem Erdgemisch wurde die doppelte Menge an $CaCO_3$ gegeben, um der Pufferung entgegenzuwirken.

An Spurenelementen erhielt jedes Gefäß:
1,0 g $MgSO_4$
0,2 g $Fe_2(SO_4)_3$
0,01 g $CuSO_4$
0,05 g $MnSO_4$
0,05 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$.
Um die Stickstoffversorgung der Haferpflanzen optimal zu gestalten, erhielten sämtliche Hafergefäße noch 0,6 g N als Ammonnitrat. Beim Lein erwies sich dieses nicht als erforderlich, dagegen war eine zweimalige Gabe von 0,01 g $FeSO_4$ je Topf bei etwa 10 cm Größe der Leinpflänzchen in den Sandgefäßen unumgänglich. Es wurde mit destilliertem Wasser und Regenwasser gegossen. Die Gefäße standen im Freien.

Verlauf des Versuches.

(Vegetationsbeobachtungen). Um die Keimbedingungen für alle Gefäße gleichmäßig zu gestalten, war vor dem Zusetzen der Nährlösung 1 kg des Sandes bzw. des Gemisches entfernt und nachträglich zugegeben worden. Nach dem Aufgehen wurden sowohl der Hafer als auch der Lein auf 35 Pflanzen je Gefäß vereinzelt.

Aus der Versuchsanordnung ergeben sich 100 Reihen zu je 8 Teilstücken. Von den je 8 Wiederholungen wurden jeweils 4 Gefäße früher geerntet. Sowohl beim Hafer als auch beim Lein erfolgte dieses kurz vor Einsetzen der Blüte. Die zweite Ernte geschah zur Zeit der Gelbreife am 19. Juli 1938 beim Hafer, bzw. 8. August 1938 beim Lein. Anfangs wurden die Gefäße bei 40%iger, später 60%iger und zur Zeit des höchsten Wasserbedarfes bei voller 100%iger Wasserkapazität gehalten.

Der Hafer ging etwas ungleichmäßig auf. Durchweg zeigten die im Boden wachsenden Pflanzen eine dunkle, gesunde Farbe, während in den Sandgefäßen ein gelbliches Grün vorherrschte, ohne daß die Pflanzen in der Entwicklung sichtbar zurückblieben. Erst als am 3. Juni sämtlichen Hafergefäßen noch die zusätzliche Stickstoffgabe als NH_4NO_3 verabfolgt wurde, traten schlagartig Verfärbungen auf, die allerdings nur in den Sandreihen stärker hervortraten und hier wieder ganz besonders in den mit $CaCO_3$ gedüngten Töpfen. Dabei war es sehr aufschlußreich zu beobachten, daß besonders die randständigen, der intensiven Sonnenbestrahlung stark ausgesetzten Pflanzen davon am meisten betroffen wurden. Sofort vorgenommene Temperaturmessungen ergaben Unterschiede innerhalb des Topfes bis zu 3° C. Durch Neßlers Reagens erhielt ich die Bestätigung, daß in ganz kurzer Zeit bei Gegenwart von $CaCO_3$ Ammoniak aus NH_4NO_3 abgespalten wurde. Auch Burdenski (9) hat beim Mischen des Bodenmaterials in der gekalkten Reihe einen starken Ammoniakgeruch wahrgenommen. Da die Vergilbung allgemein an der der Mittagssonne zugekehrten Seite verstärkt auftrat, ist anzunehmen, daß hier infolge der Temperaturerhöhung und der gesteigerten Wasseraufnahme, hervorgerufen durch eine größere Transpiration der der Sonnenseite zugekehrten Pflanzen, es hier zu einer erhöhten Konzentration der Nährsalze gekommen ist. Dadurch ist die Abspaltung der außerordentlich giftigen NH_3-Moleküle gefördert worden, die infolge ihres leichten Diffusionsvermögens schnell in die Protoplasten einzudringen vermochten. Dieses führte zu einer Veränderung der sonst ziemlich konstant gehaltenen Reaktion des Zellsaftes nach der alkalischen Seite hin mit anschließender Ausflockung des in ionisierter Form vorliegenden Eisens. Das Ergebnis war eine plötzlich auftretende Chlorose. Im Bodenversuch dagegen trat diese nicht in Erscheinung, wohl weil etwaige NH_3-Moleküle sofort vom Boden sorbiert wurden. Diese Ansicht dürfte durch die Untersuchungen von Tröndle (1920), Hoagland-Davis (1923), Brooks (1923), Irwin (1923) und Mewius (1928) bewiesen sein. So plötzlich diese Schädigung bei den Sandversuchen auch eingetreten war, so schnell verschwand sie auch wieder, begünstigt durch Abkühlung mit anschließender Regenperiode. Bereits am 8. Juni konnte die restliche Gabe an KCl zugegeben werden, ohne befürchten zu müssen, daß die Vegetationsbeobachtungen unter der Nachwirkung des NH_3 wesentlich beeinträchtigt

werden könnten. Allmählich beginnen sich Unterschiede innerhalb der einzelnen Reihen auszubilden. Eine am 23. Juni vorgenommene Beurteilung ergab folgendes:

Ohnekalkreihe: Gefäße Nr. 1—40 zeigen im Vergleich zu den Kalkreihen geringeren Zuwachs. Die Blätter sind braunspitzig, sonst aber normal grün. Mit zunehmender Kaligabe erhöhte Braunspitzigkeit und allmählich sich verstärkende Gelbfärbung der Blätter. Das Chlorophyll zeigt Anzeichen einer streifigen Anordnung.

Kalkreihe: Gefäße Nr. 41—200. Die Braunspitzigkeit hört mit der Kalkdüngung auf. Die Farbe der Blätter ist in den Vertikalreihen, sofern die Kaligabe nicht 1 g K_2O übersteigt, blaugrün. Bei den mit 2 g K_2O und mehr gedüngten Gefäßen setzt eine Aufhellung der Blätter ein, die mit steigenden K_2O-Gaben zu einer streifig bis granulierten Anordnung des Chlorophylls führt. Die höchsten Kalkgaben haben diese Verfärbung etwas abgeschwächt.

In allen Bodengefäßen treten bei den Haferpflanzen keine deutlich sichtbaren Unterschiede auf.

Auch der Lein sieht gleichmäßig und gesund aus. Nur einige Nachkömmlinge zeigten Schädigungen. Die Keimblätter öffneten sich normal grün; das dritte und vierte Blatt dagegen wurden bereits chlorotisch und die folgenden waren von vornherein gelb. Etwa 10 cm hoch begannen die Pflanzen von der Spitze her stengelabwärts abzusterben, wobei zunächst die Endknospe des Haupttriebes hellbraun vertrocknete. Auch die reingelben Blätter starben von der Spitze nach dem Blattgrunde zu ab, gleichgültig ob es sich um jüngere oder ältere handelte. Zuletzt gingen die ersten Laub- und Keimblätter zugrunde. Die kümmerlich entwickelten Wurzeln waren von hellbrauner Farbe. Auch Scholz (10) hat in seiner Kalküberschuß- und Eisenmangelreihe ähnliche Beobachtungen gemacht. Hinzuzufügen ist jedoch, daß die randständigen Pflanzen zum Teil diese Krankheitssymptome nicht aufwiesen. Die Ursache kann m. E. nur darin liegen, daß entweder das Eisen nicht gleichmäßig auf das Gefäß verteilt gewesen ist, oder wie auch Lundegårdh (11) von den Mitscherlichgefäßen berichtet, daß bei Stößen die Emaille leicht rissig wird, wobei durch die Risse Eisen herausgelöst werden kann. Keine Schädigung zeigte der in den Erdgefäßen und in den nicht mit Kalk gedüngten Sandtöpfen wachsende Lein. Nur bei den höchsten Kaligaben zeigten letztere, analog dem Hafer in seiner Jugend, ein helles Grün.

Die Eisengaben begannen in den Sandgefäßen einen allmählichen Gesundungsprozeß auszulösen. Pflanzen, die noch nicht so stark erkrankt waren, fingen an, Seitentriebe auszubilden.

Auch in den Bodengefäßen begann allmählich der Lein seine Farbe zu ändern. Es traten Anzeichen einer angedeuteten Chlorose auf, eigenartigerweise deutlicher in den Gefäßen mit höchsten Kali- und Kalkgaben. Es schien, als ob das Kali einen größeren Einfluß nach dieser Richtung ausgeübt hatte als der Kalk. Mit Anwachsen der Menge des in der Mischung der eingebrachten Salze vorhandenen Chlorids fiel der Ertrag des Flachses. Besonders die Ausbildung der Samenkapseln wurde nachteilig beeinflußt, obwohl die Blüte ganz normal verlaufen war. Eine Verzögerung der Samenbildung bei geringeren Erträgen machte sich deutlich in den Reihen mit mittleren und höheren Kalkgaben im Sande bemerkbar, dagegen war in den Erdgefäßen lediglich eine Tendenz nach dieser Richtung hin zu erkennen. Es ist dieses eine Beobachtung, die sowohl Masaewa (35) und auch schon früher Trunninger (26) gemacht haben, aber nicht mit den Feststellungen von Scholz übereinstimmten. Allerdings erscheint die Begründung von Masaewa, wonach die unmittelbare Ursache der Abnahme des Samenertrages bei Chloriddüngung die Verengung des Kalium-Kalziumverhältnisses ist, nicht stichhaltig zu sein. Vielmehr ist sicher, daß aus $CaCl_2$ das Anion in viel stärkerem Maße aufgenommen wird als das Kation (18). Da das Gleichgewicht der elektrostatischen Kräfte aber gewahrt bleiben muß, kommt es wahrscheinlich zur Bildung von schwerlöslichen Kalkphosphaten, die die zur Samenbildung unbedingt notwendige Phosphorsäure schwer zur Verfügung stellen. Dieses geht auch aus den Analysenzahlen der Sandernte zweiter Schnitt (Tabelle 13 und 14) hervor. Damit deckt sich die von For-

Besprechung des Versuches.

Erträge. Die Ernten sind in zwei Wachstumsstadien vorgenommen worden. Die Erträge waren folgende:

$CaCO_3$ in g	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g—K_2O
Tabelle 2. Lein, Sand, 1. Ernte.					
0	6,8±0,12	6,0±0,12	6,9±0,31	6,1±0,67	3,1±0,43
6	3,9±0,09	3,7±0,24	3,7±0,21	2,1±0,09	1,9±0,09
12	3,5±0,02	3,8±0,05	3,5±0,18	2,5±0,17	2,5±0,12
24	3,2±0,11	2,8±0,14	2,3±0,13	2,8±0,19	1,8±0,18
48	3,0±0,24	2,6±0,30	2,9±0,21	4,0±0,28	1,7±0,26
Tabelle 3. Hafer, Sand, 1. Ernte.					
0	22,3±0,20	23,0±0,33	20,8±0,21	19,1±0,46	18,9±0,15
6	26,2±0,35	25,9±0,37	23,5±0,30	24,0±0,23	22,9±0,25
12	27,0±0,40	25,7±0,59	23,8±0,21	24,1±0,31	23,8±0,20
24	28,3±0,34	28,7±0,32	27,0±0,61	25,5±0,68	23,7±0,45
48	28,0±0,18	29,8±0,32	26,7±0,48	27,0±0,29	24,7±0,45
Tabelle 4. Lein, 2. Ernte.					
0	14,2±0,75	12,6+0,82	12,5±0,95	7,2±0,16	5,5 —
6	23,4±0,43	26,0±0,40	18,4±0,85	3,8±0,78	3,3±0,06
12	19,7±0,51	22,3±0,44	19,0±0,93	6,4±1,35	6,1±0,74
24	17,9±0,96	19,9±0,54	18,3±0,45	13,7±0,53	4,8±0,40
48	17,7±0,86	19,2±0,20	20,9±0,30	15,0± —	3,0±0,37
Tabelle 5. Hafer, 2. Ernte.					
0	69,4±1,16	77,0±0,38	82,8±0,54	78,9±0,79	71,0±0,73
6	78,3±0,50	84,8+0,85	88,6±1,50	86,5±1,58	88,9±0,70
12	82,1±1,00	88,5±1,10	91,7±0,40	92,6±0,93	87,3±0,74
24	86,5±1,16	96,4±0,99	99,0±1,68	100,4±1,04	94,4±0,97
48	84,0±0,49	91,8±0,24	92,6±1,40	90,6+0,77	90,1±0,57
Tabelle 6. Lein, Bodengemisch, 1. Ernte.					
0	13,5±0,12	13,9±0,31	13,3±0,24	17,6±0,33	11,8±0,14
12	13,9±0,31	12,2±0,34	12,3±0,12	11,6±0,31	9,7±0,26
24	13,0±0,21	12,4±0,18	13,6±0,18	13,0±0,00	10,5±0,50
48	12,5±0,24	12,4±0,18	12,0±0,24	12,5±0,12	9,6±0,30
96	11,9±0,31	11,3±0,31	9,0±0,24	9,4±0,18	8,3±0,14
Tabelle 7. Hafer, Bodengemisch, 1. Ernte.					
0	25,1±0,16	27,4±0,20	28,2±0,22	28,0±0,37	28,2±0,20
12	27,1±0,43	27,7±0,34	28,0±0,16	28,7±0,44	30,8±0,33
24	30,7±0,38	28,0±0,29	27,6±0,45	28,5±0,48	29,4±0,18
48	28,5±0,37	28,3±0,20	27,6±0,27	28,7±0,15	25,5±0,17
96	28,3±0,12	28,7±0,12	27,5±0,24	24,6±0,18	24,9±0,27
Tabelle 8. Lein, 2. Ernte.					
0	42,1±0,63	45,3±0,94	46,0±0,72	44,6±0,73	35,4±0,50
12	45,2±0,44	45,0±0,84	45,1±0,23	44,2±0,82	28,9±0,61
24	41,2±0,49	44,7±0,66	45,0±0,62	43,2±0,45	39,8±0,54
48	41,3±0,56	43,2±0,10	44,2±0,59	42,7±0,09	36,3±0,56
96	39,3±0,39	42,2±0,57	38,9±0,13	28,7±0,86	31,9±6,16

Tabelle 9. Hafer, 2. Ernte.

$CaCO_3$ in g	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g—K_2O
0	70,6±0,24	70,1±0,49	71,3±0,90	73,3±0,20	78,3±1,33
12	69,5±1,00	72,2±0,45	74,8±1,29	74,0±0,24	79,7±0,41
24	71,1±0,94	76,9±0,61	76,7±1,28	83,7±1,09	75,7±1,25
48	74,3±0,68	79,3±0,41	78,8±0,98	75,6±0,39	73,1±0,82
96	72,1±0,65	65,2±0,50	68,2±0,80	70,3±0,35	66,0±0,40

schern beobachtete Reifeverzögerung der Samenbildung und der geringere Ertrag beim Lein mit steigenden Kalkgaben. So schreibt z. B. auch H. Wießmann (12) unter Hinweis auf die Versuche von Remy, daß Kalimangel die Körner nicht in dem Maße beeinträchtige wie Phosphorsäuremangel. Außerdem weise ich in diesem Zusammenhang noch auf die Inkonstanz des Mitscherlichschen Wirkungsfaktors für Kali bei Anwesenheit von Na hin, wo unter bestimmten Umständen dem Natrium eine gewisse Ersatzwirkung zukommt.

Ohne zunächst etwas über die Ursachen und die Zusammenhänge der Ertragsdepressionen auszusagen, möchte ich gleich vorwegnehmen, daß der Lein in der Jugend gegen hohe Kalkgaben am empfindlichsten ist, wie es wohl deutlich bei der Gegenüberstellung von Tabelle 2 und 4 hervorgeht. Nachdem die Jugendschäden überwunden waren, war immer noch eine Ernte möglich, die 50% des in den Bodengefäßen wachsenden Leins ausmachte. Aber es steht fest, daß mit steigenden Kalkgaben fast allgemein fallende Erträge erzielt werden, wenn man von der Ohnekalkreihe der zweiten Ernte absieht. In dieser ist der Mangel an Kalk als begrenzender Faktor bei der Ausbildung des Ertrages anzusehen.

Auch Fischer (13) hat fast stetig sinkende Trockensubstanzernten bei steigenden Kalkgaben gefunden. Dagegen beobachteten Trunninger und Liechti zusätzlich noch, daß stark mit Kalk gedüngte Pflanzen zwar Blüten ausbildeten aber keine Früchte ansetzten, bei einzelnen Pflanzen sogar Stengelteile abstarben.

Dieses Geschehen läßt sich zum Teil in Widerspruch zu Fischer, der eine Konzentrationsschädigung annimmt, damit erklären, daß durch Hinzufügen von Kaliumnitrat, Kaliumchlorid und Ammonnitrat je nach dem Stande der Entwicklung der Pflanzen, wie Trunninger (26) schreibt, die Löslichmachung von weiterem Kalk gefördert wurde. Dieses löste eine Reaktionsverschiebung nach der alkalischen Seite aus und wirkte der Kaliaufnahme im Moment des höchsten Bedarfs entgegen. Auch bei den vorliegenden Versuchen hat KCl-Zugabe das Verhältnis von K : Ca zugunsten des letzteren beträchtlich verschoben. Bestätigt findet man diese Beobachtungen bei Turtschin (51) durch seinen Hinweis darauf, daß das Cl-Ion in den Kalisalzen das Kalzium des Bodens besonders in sauren Böden mobilisiert, wodurch dieses in relativ großen Mengen in die Pflanzen des kalziophoben Typus gelangt und das Verhältnis von Kalium zu Kalzium nach der ungewünschten Seite verschiebt.

Aus dem Vergleich der Ernteergebnisse von Hafer und Lein (Tab. 2 und 3) geht hervor, daß die Erträge sich relativ wenig in

der Ohnekalkreihe trotz steigender Kaligabe verändern bis auf den Lein. Dieser zeigt bei der höchsten Kaligabe einen plötzlichen Ertragsabfall, wahrscheinlich verursacht durch eine Chlorionschädigung, gegen die der Hafer weniger empfindlich ist. Die nächsten Reihen lassen mit Einsetzen der Kalkgabe eine plötzliche Ertragsdepression erkennen, die auch durch steigende Kaligaben nicht gemildert wird, so daß wohl ein Alkalitätsanstieg als Ursache angesehen werden muß. Reaktionsmessungen in Tabelle 10 werden dieses bestätigen.

Die Haferreihen dagegen zeigen eine entgegengesetzte Tendenz. Die Erträge liegen durchweg über denen der Ohnekalkreihe und lassen auch bei den höchsten Kalkgaben keine Schädigung erkennen. Im Gegenteil, der Höchstertrag 29,8 ± 0,32 liegt bei der höchsten Kalkgabe. Die Gabe von 0,5 g K_2O hat in allen Reihen innerhalb der Versuchsfehler ausgereicht. Den durch Kaliüberschuß bedingten Ertragsabfall haben die starken Kalkgaben etwas gemildert. Dieses kommt in der steigenden Tendenz der Erträge in den Vertikalreihen zum Ausdruck.

p_H-Messungen, die vor der Einsaat und nach der ersten Ernte vorgenommen wurden, mögen zur Klärung der oben erwähnten Beobachtungen beitragen.

Tabelle 10*).

Sandgefäße.

	Nach der 1. Ernte				Vor der Einsaat
	0,5 g K_2O		4 g K_2O		
$CaCO_3$	Hafer	Lein	Hafer	Lein	Hafer und Lein
0	pH 8,2	pH 7,2	pH 7,2	pH 7,7	pH 7,0
6	7,6	8,4	7,3	8,7	8,7
12	7,1	8,3	8,4	8,6	8,7
24	7,1	8,3	8,1	8,6	8,7
48	7,1	8,6	7,9	8,3	8,7

*) Die pH-Messungen wurden elektrometrisch mit der Chinhydronelektrode ausgeführt.

Die Tabelle bestätigt die bereits vorher angedeutete Reaktionsschädigung beim Lein. Sie besagt aber noch mehr. Dem Hafer ist es dank einer vermehrten Säureausscheidung gelungen, die Alkalität zu drücken und dem p_H-Optimum näher zu kommen. Dieses liegt nach Kappen (14) bei Weißhafer um p_H 8. Beim Lein sind die Befunde nicht einheitlich.

Arrhenius (15) fand, daß der Faserlein sein Wachstumsoptimum im alkalischen Reaktionsgebiet hat. v. Boguslawski (16) erzielte die höchsten Leinerträge bei der Reaktion pH 5,5—6,5, während nach E. Morgenroth (17) als günstigste Reaktion für den Faserlein sich pH 6,6 erwies.

In dem vorliegenden Falle liegt das Reaktionsoptimum für Faserlein zwischen p_H 7 und p_H 7,2. Die Reaktionsmessungen vor der Einsaat des Leins und des Hafers im Boden-Sandgemisch und nach der ersten Ernte mögen als Beweis gelten.

Tabelle 11.

Boden-Sandgemisch.

	Nach der Ernte				Vor der Einsaat
	0,5 g K_2O		4 g K_2O		
$CaCO_3$ in g	Hafer	Lein	Hafer	Lein	Hafer und Lein
0	pH 6,7	pH 7,3	pH 7,0	pH 7,0	pH 6,8
12	6,8	7,0	7,0	7,3	7,0
24	6,4	7,3	7,0	7,2	7,2
48	6,4	7,4	6,9	7,6	7,3
96	6,6	7,6	6,8	8,0	7,3

Bevor eine weitere Besprechung der Zahlen vorgenommen wird, sei auf einige Feststellungen von Hoagland (18) hingewiesen.

Durch Zugabe von KCl wird die Konzentration von $CaCO_3$ in der Lösung erhöht. Ein Teil wird in Chloride überführt bzw. in Nitrate und Sulfate bei Anwesenheit von NO_3- oder SO_4-Ionen, d. h. es wird die Löslichkeit von $CaCO_3$ durch Zugabe von Düngemitteln, mit denen es keine gemeinsamen Ionen besitzt, erhöht. Deshalb werden indirekt schon mit dieser Vermehrung der Löslichkeit von $CaCO_3$, als einem Salz einer starken Base und einer schwachen Säure Düngemittel wie $NaNO_3$, KCl, K_2SO_4 u. a. stets die Löslichkeit und die Alkalität einer Bodenlösung erhöhen, dagegen erniedrigen die Kalziumphosphate, Kalzium- und Ammoniumsulfate (52).

Es ist dieses eine Feststellung, die auch in Tabelle 11 zum Ausdruck kommt.

Beim Vergleich dieser Zahlen mit den entsprechenden Erträgen ist bei p_H 8 bereits eine Trockensubstanzverminderung um 40% gegenüber dem Höchstertrag bei p_H 7 festzustellen.

Domontowitsch und Abolina (19) fanden, daß die Leinernte bei pH 8 um 24% zurückging; ihr pH-Optimum lag bei Lein zwischen 5,9 und 6,5, während W. Scholz (20) das Reaktionsoptimum etwas weiter nach der basischen Seite zwischen pH 6 und 7,5 verlegt. In Münters Versuchen ergab der Faserlein die höchsten Erträge bei pH 6,8—7,2.

Diese z. T. beträchtlichen Abweichungen können ihre Ursache darin haben, daß verschiedene Sorten auch verschiedene Ansprüche an die Reaktion stellen.

So findet z. B. E. Morgenroth (21), daß der Öllein viel weniger säureempfindlich ist als der Faserlein.

Außerdem sind diese abweichenden Ergebnisse noch dadurch zu erklären, daß mit künstlich durch Zusatz von Säuren oder Laugen hergestellten Reaktionsgraden gearbeitet wurde, die als etwas von der Natur Abweichendes anzusehen sind.

Hierauf wurde auch schon von Boguslawski (22) durch Hinweis auf die Arbeiten von Olsen, Oswald und Kappen aufmerksam gemacht. Nehring (23) fand, daß ein natürlich saurer Boden von pH 5,27 eine Austauschazidität von 3 bis 5 ccm und ein künstlich saurer Boden mit derselben pH-Zahl nur eine Austauschazidität von 0,4 ccm besaß.

Dieses bedeutet, daß zwar die Wasserstoffionenkonzentration künstlich einem natürlichen Boden angeglichen werden kann, aber in der Art der Bindung der Basen können derartig große Unterschiede auftreten, daß die Übertragung der auf diese Weise ge-

wonnenen Ergebnisse auf dem gewachsenen Boden in Frage gestellt wird.

Zurückkommend auf die zweite Ernte im Sand möchte ich noch hinzufügen, daß es dem Lein im Laufe der Vegetationsperiode gelungen war, die Reaktion nach der neutralen Seite hin zu drücken, begünstigt durch das physiologisch sauer wirkende $FeSO_4$ und weiter gefördert durch die stärkere CO_2-Absonderung der Wurzeln im Verlauf der Gesundung. Reaktionsmessungen ergaben Werte zwischen p_H 7,5 und p_H 8. Die Pflanze beantwortete diese Tatsache mit der Ausbildung eines mittleren Ertrages. Auffallend bleibt allerdings der geringe Zuwachs in den Vertikalreihen mit der K_2O-Gabe von 3 und 4 g im Vergleich mit den entsprechenden im Sand erster Ernte (Tab. 2). Erst die Analyse wird über die Ursachen Aufschluß geben können. An dieser Stelle nur möchte ich noch darauf hinweisen, daß mit steigenden Kalkgaben diese scheinbar durch K_2O hervorgerufene Depression geringer in Erscheinung tritt, auch wenn die Werte zum Teil innerhalb des fünffachen Fehlers liegen. Die Tendenz ist jedenfalls sichtbar.

Bei der Gegenüberstellung der Hafenernten fiel es auf, daß bei der ersten Ernte die niedrigste Kaligabe ausgereicht hatte, um innerhalb der Versuchsfehler noch Höchsterträge zu erzielen. Dieses muß als ein Beweis dafür angesehen werden, daß die Pflanze mit dem Kali nicht haushälterisch umgehen kann, d. h. sie stellt sich nicht von Anfang an auf die ihr zur Verfügung stehende Kalimenge ein, weil bei der zweiten Ernte der Höchstertrag erst bei einer Gabe von 3 g K_2O erzielt wurde. Hinweisen möchte ich noch auf die Ohnekalkreihe und ihr Verhalten bei steigenden Kaligaben. Beim Hafer ist ein Ansteigen der Erträge bis zur 2-g-K_2O-Gabe festzustellen, dann erst setzt der Abfall ein; beim Lein dagegen geht von Anfang an mit steigenden Kaligaben ein starker Rückgang der Erträge konform. Sowohl beim Hafer als auch beim Lein reicht der Kalk zur Ausbildung von Höchsterträgen nicht aus. Doch war es dem Hafer immerhin noch möglich, trotz wesentlich größerer Erzeugung an Trockenmasse noch etwa 75—80% des Höchstertrages innerhalb der Vertikalreihen zu erreichen, während der Lein dazu bei weitem nicht in der Lage war. In der 4-g-K_2O-Vertikalreihe liegen Schädigungen vor, über deren Ursache die Analyse Aufschluß geben wird, so daß diese Reihe bei der Gegenüberstellung nicht herangezogen werden darf.

Die beiden Ernten im Bodengemisch seien nur zusammenhängend besprochen. Es fällt sofort auf, daß hier innerhalb der Vertikalreihen beim Lein sämtliche Höchsterträge entweder in der Ohnekalkreihe oder bei einer Düngung von 12 g $CaCO_3$ liegen, was damit zu erklären ist, daß der verwendete Boden sehr kalkhaltig war. Beim Hafer trifft dieses nicht zu. Außerdem zeigt sich, daß steigende Kalkgaben zwar zu einer Ertragsverminderung beim Lein führen, diese aber bis zu einem gewissen Grade durch ansteigende Kaligaben gemildert wird. Es ist dieses eine Beobachtung, die ebenfalls aus den Zahlenreihen von Fabian (24) und

Fischer (25) zu erkennen ist, und deren Erklärung durch das Kalikalkgesetz gegeben wird. Die Ursache einer Kalkschädigung ist nach von Boguslawski nicht allein in einer Aufnahmehemmung begründet, sondern sie kommt gleichzeitig in einer allgemeinen Leistungshemmung der Pflanzen, verursacht durch die herabgesetzte Verwertung sämtlicher Nährstoffe, zum Ausdruck.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Lein zwar alkaliempfindlich ist, aber einen gewissen Bedarf an Kalk braucht. Die Schädigung durch höchste Kalkgaben im Boden ist kaum wahrnehmbar, sofern nicht die Reaktion wesentlich verändert wird. Dann allerdings setzt eine starke Kalküberschwemmung ein, die auch nach Mewius (28) nur als eine Folge der durch die hohen p_H-Werte gestörten selektiven Permeabilität anzusehen ist.

Hiermit decken sich auch die Ergebnisse von H. Selle (27), der Flachsböden aus Westfalen und Lippe-Detmold auf ihre Reaktion untersucht hat. Dieser fand nur 26% saure, dagegen 54% alkalische Böden, die hinsichtlich der Leinerträge durchaus nicht schlechter abschnitten, als die sauren Böden.

Analysen.

a) Sandversuch, erste Ernte (Tab. 11, 12).

Mit gesteigerten Kaligaben steigt in gewissem Sinne der Prozentgehalt der Ernte an Kali, ebenso mit gesteigerter Kalkgabe der Prozentgehalt der Ernte an Kalk, während im letzteren Falle der Prozentgehalt an Kali, im ersteren Falle der an Kalk deutlich fällt. Das Ehrenbergsche Kali-Kalkgesetz erfährt damit eine Bestätigung, die noch besser in den Verhältniszahlen K : Ca zum Ausdruck kommt. Außerdem zeigt es sich, daß hier der Prozentgehalt an Kalzium beim Lein wesentlich höher ist, als beim Hafer, was darauf schließen läßt, daß der Lein einen hohen Kalkbedarf hat und mit einem vorzüglichen Aneignungsvermögen für Kalk ausgestattet ist. Es gelang dem Lein, in der kalkfreien Sandreihe noch etwa 100% mehr an Kalk aus dem Sande je Pflanzeneinheit, bzw. die vierfache Menge je g Trockensubstanz aufzunehmen als der Hafer. Ob hierbei die Pflanze aktiv mitgewirkt hat oder ob die Pflanze gegen die Kalküberschwemmung sich nicht wehren konnte, weil der Regulator Eisen nicht wirksam wurde, wie das die Chloroseerscheinung zeigt, mögen weitere Untersuchungen beantworten.

b) Sandversuch, zweite Ernte (Tab. 13, 14).

Einen besseren Eindruck über die Nährstoffaufnahme beim Lein im Vergleich zum Hafer vermitteln die Tabellen Lein zweite Ernte und Hafer zweite Ernte.

Auffallend ist auch hier die Wechselwirkung von K und Ca, die, erklärt durch das Ehrenbergsche Kali-Kalkgesetz, nicht näher erörtert werden soll. Doch zeigt sich, daß in den Vertikalreihen mit 0,5 und 1 g K_2O die Verhältniszahlen K : Ca durchweg höher ausfallen als die entsprechenden beim Hafer, obgleich der Lein ein ausgezeichnetes Aneigungsvermögen für Kalk besitzt. Eine Ausnahme macht allerdings in jeder Vertikalreihe die Serie mit der

Verhältniszahlen K/Ca in Äquivalenten.

$CaCO_3$ in g	Lein. 1. Ernte, Sand					2. Ernte, Sand				
	K_2O					K_2O				
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g
0	2,15	1,96	2,58	3,28	5,98	2,48	2,70	4,34	6,41	6,19
6	0,77	0,90	1,27	1,54	2,20	0,99	1,24	1,15	1,46	2,42
12	0,57	0,88	1,01	1,68	1,84	0,85	1,47	0,90	1,26	2,23
24	0,42	0,80	0,93	1,24	1,56	0,60	1,21	0,68	1,75	1,44
48	0,41	0,73	0,92	1,28	0,68	0,37	0,48	0,62	1,63	0,76

$CaCO_3$ in g	Hafer. 1. Ernte, Sand					2. Ernte, Sand				
	K_2O					K_2O				
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g
0	1,02	6,81	6,88	9,75	8,99	0,80	1,49	3,53	5,40	4,77
6	2,72	2,67	5,17	5,20	3,66	0,76	0,99	1,73	2,73	4,18
12	2,48	2,19	3,91	3,19	3,74	0,59	0,88	1,47	3,53	3,93
24	2,19	1,90	3,37	4,04	4,58	0,54	0,63	1,29	2,37	2,92
48	1,31	2,18	3,14	3,22	4,40	0,39	0,60	1,08	1,76	3,85

$CaCO_3$ in g	Lein. 1. Ernte, Boden					2. Ernte, Boden				
	K_2O					K_2O				
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g
0	0,82	0,84	1,05	1,14	1,13	0,98	0,95	1,03	1,29	1,18
12	0,69	1,00	0,97	0,85	0,87	0,97	0,96	1,09	1,07	1,12
24	0,63	1,00	0,91	0,75	0,89	0,92	0,95	1,00	1,27	1,28
48	0,51	0,86	0,89	0,90	0,79	0,87	0,89	1,03	1,41	1,36
96	0,30	0,62	0,86	0,57	0,60	0,78	0,87	0,98	1,26	1,25

$CaCO_3$ in g	Hafer. 1. Ernte, Boden					2. Ernte, Boden				
	K_2O					K_2O				
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0 g	0,5	1,0	0,2	3,0	4,0 g
0	2,17	2,46	2,51	2,04	1,68	1,49	1,78	1,94	2,09	0,99
12	2,32	2,17	2,68	2,92	2,77	2,02	2,22	2,41	2,44	2,53
24	2,22	2,18	2,71	2,58	2,69	1,92	2,13	2,44	2,49	2,31
48	1,95	2,57	2,61	2,86	3,29	1,81	2,31	2,94	2,82	2,61
96	1,51	2,29	2,45	3,06	3,15	1,63	2,29	2,89	2,80	2,57

höchsten Kalkgabe. Als Erklärung möchte ich dazu die Theorie von Mewius zitieren (28).

Dieser sieht die starke Kalküberschwemmung nur als eine Folge der durch die hohen pH-Werte gestörten elektiven Permeabilität an, die dazu führt, daß das in der Pflanze angetroffene Mengenverhältnis der einzelnen Ionen sich dem der im Sande vorhandenen nähert.

Die Verhältniszahlen deuten weiter darauf hin, daß der Lein auch ein besseres K_2O-Aneignungsvermögen besitzen muß als der

Hafer. Diese Annahme ist um so mehr gerechtfertigt, als bei Hafer die Kalkaufnahme eine untergeordnete Rolle spielt. Als Beweis möge die Tatsache gelten, daß auch in fast kalkfreiem Sande die Erträge noch verhältnismäßig hoch ausfielen und wenig unter denen der Kalkreihe liegen. Doch könnte man hier den Einwand machen, daß beim Lein wesentlich weniger Pflanzensubstanz erzeugt worden ist, so daß den Pflanzen mehr K_2O für die Wachstumsperiode zur Verfügung stand, während beim Hafer das Kali in das Minimum geriet.

Einen exakten Anhalt über die Aneignungsmöglichkeit und Ausnutzungsfähigkeit des Düngerkalis gibt uns die 0,5-g-K_2O-Vertikalreihe, in der nach einer Gegenüberstellung der Erträge das Kali gegenüber dem Kalk sich im Minimum befunden haben muß.

Allerdings kann der Gesamtkalientzug in den Ernten bei 24 und 48 g $CaCO_3$ zur Beurteilung nicht herangezogen werden, da hier ertragsbegrenzende Faktoren anderer Natur ihren Einfluß geltend gemacht haben. Dasselbe gilt sinngemäß auch für die Ohnekalkreihe. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen ergibt sich für den Lein eine Ausnutzung des Düngerkalis zwischen 62,6 und 79,6%, für Hafer zwischen 60,8 und 70,4%. Leider läßt sich dieses Ergebnis nicht durch eine Übertragung auf die 1-g-K_2O-Vertikalreihe ausführlicher begründen, weil hier der Lein bereits seine Höchsterträge gab. Da diese nicht entsprechend der Kalisteigerung über den vorher erwähnten liegen, ist anzunehmen, daß die Gabe von 1 g K_2O nicht mehr vollständig ausgenutzt wurde. Aus den Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß das Kaliausnutzungsvermögen des Leins dem des Hafers mindestens gleichkommt. Auch Fischer (29) berichtet von einem großen Kalianeignungsvermögen des Leins. Wenn man über diese Frage im Schrifttum bisweilen Widersprüchen begegnete, so sind diese m. E. darauf zurückzuführen, daß, dank des ausgezeichneten Kalkaneignungsvermögens des Faserleins, die Kaliaufnahme stark eingeschränkt wird. Dieses mußte zwangsläufig zu ganz anders gearteten Ergebnissen führen, je nachdem ob der gewählte Boden kalkreich oder kalkarm war. Der sprunghafte Rückgang des Gesamtkalientzuges in den Reihen mit niedrigen Kaligaben bei ansteigender Kalkzufuhr bestätigt dieses, und eine Betrachtung des Gesamtkalientzuges aus den Erdreihen wird diese Beobachtung noch gesicherter erscheinen lassen, weil hier weder eine Reaktionsveränderung noch eine zu hohe Salzkonzentration die Ergebnisse verwischen konnte. Als verstärkendes Moment kommt noch hinzu, daß die Trockensubstanzbildung unter gleichen Verhältnissen beim Lein geringer ist als beim Hafer, so daß also der Leinpflanze zu ihrer Ausbildung stets ein Plus an K_2O gegenüber dem Hafer zur Verfügung gestanden hat, um einer Kalküberschwemmung entgegenzuwirken. Demnach müßte eine verringerte Kaliaufnahme mit Übergängen in den einzelnen Vertikalreihen in Erscheinung treten, eher jedenfalls als beim Hafer, vorausgesetzt, daß die zeitliche Aufnahme der Nährstoffe der beim Hafer entspricht.

c) Bodenversuch, erste Ernte (Tab. 15, 16).

Aus den geringen Schwankungen der Erträge geht hervor, daß die geringsten Kaligaben mit dem natürlichen Vorrat des Bodens ausgereicht haben, um höchste Erträge zu erzielen. Durchweg ist der prozentische Kaligehalt der Leinpflanzen niedriger als in den entsprechenden Reihen im Sande, was in der größeren Beweglichkeit des Kaliums seine Erklärung findet. In geringerem Maße gilt dieses auch für den Kalk, obwohl die Kalkgabe im Bodengemisch doppelt so hoch bemessen war. Beim Hafer liegen sonderbarerweise die Dinge umgekehrt. Einschließlich der 1-g-K_2O-Vertikalreihe ist der prozentische Kaligehalt höher als in den entsprechenden im Sande, erst von da ab gewinnt der Prozentgehalt an Kali im Sande die Oberhand, während beim Kalk fast allgemein entsprechend der doppelten Gabe im Erdgemisch der Prozentgehalt auch höher liegt als in den entsprechenden Reihen im Sande. Diese Tatsache mag als eine Bestätigung für die Untersuchungen von Scholz gelten, der feststellte, daß der Lein bei Eisenmangel gegen eine zu hohe Kalkaufnahme wehrlos ist und zugrunde geht, während der Hafer imstande ist, dank seiner lösenden Wurzelausscheidungen sich genügend mit Eisen zu versorgen und damit die Kalkaufnahme seinen Bedürfnissen anzupassen.

Dieser soeben erwähnte Eisenmangel ist darauf zurückzuführen, daß infolge Überwiegens von OH-Ionen im alkalischen Sand sich Eisenhydroxyd bildet, das in dieser Form von der Pflanze nicht aufgenommen werden kann.

Die Verhältniszahlen K : Ca liegen beim Lein durchweg niedriger als beim Hafer, was m. E. nicht allein auf den verhältnismäßig hohen Bedarf an Kalk des Leins zurückzuführen ist. Ich weise deshalb in diesem Zusammenhang noch darauf hin, daß der prozentische Kaligehalt in den Haferreihen wesentlich über dem der entsprechenden Reihen beim Lein liegt. Dieses muß um so mehr ins Gewicht fallen, als aus der Gesamtnährstofftabelle hervorgeht, daß der Gesamtentzug an Kali beim Lein wesentlich geringer ist. Er beträgt etwa $1/2$ bis $1/3$ des Gesamtentzuges beim Hafer. Es ist begreiflich, daß mit steigenden Kaligaben diese hauptsächlich auf die 0,5- und 1-g-K_2O-Vertikalreihe sich stützenden Beobachtungen durch einsetzende Luxusaufnahme bzw. stärkeres Hervortreten der Cl-Wirkung in den 3- und 4-g-K_2O-Vertikalreihen die erwähnten Erkenntnisse etwas verschwimmen. Aber immer werden sich diese Beobachtungen noch als Tendenz verfolgen lassen.

d) Bodenversuch, zweite Ernte (Tab. 17, 18).

Die Betrachtung der Analysenergebnisse im Zusammenhang mit dem Gesamtnährstoffentzug ergibt folgendes Bild: Der prozentische Kaligehalt ist sowohl beim Lein als auch beim Hafer in der zweiten Ernte zwar niedriger als in der ersten Ernte, betrachtet man jedoch den Gesamtnährstoffentzug, so wird man leicht feststellen, daß die Gesamtaufnahme trotzdem angestiegen

ist. Dieses ist eine längst bekannte Tatsache. Bei genauerer Betrachtung findet man, daß die Hauptmenge der gesamten aufgenommenen Nährstoffe bei Hafer und Lein nicht in den gleichen Wachstumsstadien aufgenommen sein kann, d. h. der Rhythmus der Nährstoffaufnahme muß beim Lein ein anderer sein als beim Hafer.

Als Beweis hierfür sei noch folgendes angeführt: Rückschauend auf den Gesamtnährstoffentzug in der ersten Ernte im Bodengemisch komme ich zu dem Ergebnis, daß nach der ersten Ernte, also kurz vor Beginn des Blühens, die größten Anforderungen an die Kaliversorgung beim Lein gestellt werden. Etwa die 2- bis 2½fache Menge an Kali ist in der 0,5-g-K_2O-Vertikalreihe nach der ersten Ernte noch aufgenommen worden, während beim Hafer sich die Gesamtkalimenge nur etwa um $^1/_7$ des bereits bis zur ersten Ernte aufgenommenen Kalis noch erhöht hat. Sogar in der 1-g-K_2O-Vertikalreihe hat sich nach dem ersten Schnitt die Gesamtkaliaufnahme noch verdoppelt, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß hier für die erste Ernte Kali im Überschuß vorhanden gewesen sein muß, so daß eine Luxusaufnahme stattgefunden haben kann, die das zur Arterhaltung notwendige Maß an Kali überschritt. Bestimmt gilt dieses aber nicht für den Hafer, wo nach der ersten Ernte die Kaliaufnahme sich hier nur um 40—50% noch gesteigert hat.

Schwieriger ist es, den Gesamtkalkentzug zur Beweisführung heranzuziehen, da der Kalk einen sehr hohen Wirkungsfaktor hat und allen Pflanzen im Überschuß zur Verfügung stand. Es kommt noch hinzu, daß ein großer Unterschied im Kalkgehalt der Asche nicht physiologisch bedingt zu sein braucht. Dieses beruht darauf, daß zwar das Wahlvermögen auf die Physiologie der Pflanze abgestimmt ist; dieses Wahlvermögen aber nicht in einer eigentlichen „Auswahl bestimmter Stoffe" beruht, sondern physikalisch-chemischen Gesetzen gehorcht, so daß lediglich eine mehr oder weniger weitgehende Konzentrationsverschiebung der im Nährsubstrat gebotenen Ionen möglich ist.

Auswertung der Ergebnisse.

Beim Lein geht die Kalkaufnahme außerordentlich intensiv vor sich; liegt doch der Gesamtentzug trotz einer wesentlich geringeren Trockensubstanzbildung recht erheblich über dem des Hafers, insbesondere in den Reihen mit höchsten Kalkgaben. Zwar gleichen sich in der Ohnekalkreihe und in solchen mit niedriger Kalkgabe die Zahlen etwas an, aber nur um mit steigenden Kalkgaben um so mehr zurückzubleiben. Ein Beweis für das geringe Exklusionsvermögen des Leins. Dagegen fällt der Gesamtkalientzug mit steigenden Kalkgaben stark ab. Damit offenbart sich klar das Mißverhältnis von Kalk zu Kali beim Lein gegenüber dem gegen Kalküberschuß unempfindlichen Hafer. Erst in der Zeit zwischen erster und zweiter Ernte ändert sich unter dem Druck des außerordentlich starken Anstieges an Kali (vgl. Gesamtnährstoffentzug)

Tabelle 11*).
Analysenergebnisse. Hafer, 1. Ernte, Sand.

K_2O:	0,5 g			1,0 g			2,0 g			3,0 g			4,0 g		
$CaCO_3$	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %
0 g	1,3	1,0	0,3	2,8	1,1	0,2	3,2	1,2	0,2	4,2	1,1	0,22	4,2	1,0	0,2
6 g	1,7	0,9	0,3	2,3	0,8	0,4	4,6	0,9	0,5	5,0	0,9	0,5	5,5	0,7	0,8
12 g	1,6	1,0	0,3	2,5	0,8	0,6	3,6	0,9	0,5	3,9	0,9	0,6	4,4	0,8	0,6
24 g	1,4	0,9	0,4	2,3	1,0	0,5	3,6	1,0	0,5	3,7	0,9	0,5	4,2	0,4	0,5
48 g	1,2	0,6	0,5	2,0	0,8	0,6	3,0	0,8	0,5	3,5	1,0	0,6	4,0	1,1	0,5
Gesamtentzug**) in g															
0 g	0,281	0,230	0,071	0,642	0,251	0,048	0,670	0,245	0,049	0,798	0,220	0,042	0,794	0,189	0,454
6 g	0,458	0,238	0,086	0,592	0,215	0,114	1,090	0,216	0,108	1,193	0,206	0,118	1,260	0,168	0,177
12 g	0,432	0,275	0,089	0,632	0,217	0,148	0,852	0,217	0,112	0,945	0,227	0,152	1,040	0,190	0,143
24 g	0,399	0,243	0,116	0,672	0,278	0,135	0,975	0,267	0,149	0,944	0,224	0,120	0,995	0,100	0,111
48 g	0,350	0,160	0,137	0,596	0,238	0,188	0,801	0,208	0,131	0,950	0,453	0,151	0,995	0,264	0,116

Tabelle 12. Lein, 1. Ernte, Sand.

0 g	1,5	1,5	0,4	1,9	1,1	0,5	2,5	1,3	0,5	3,1	1,3	0,5	4,4	1,0	0,4
6 g	2,7	1,4	1,8	3,0	1,3	1,7	3,7	1,2	1,5	4,0	1,1	1,3	5,2	1,1	1,2
12 g	2,1	1,1	1,9	3,2	1,1	1,8	4,1	1,1	1,7	4,8	1,1	1,5	5,1	1,0	1,4
24 g	2,0	1,2	2,4	3,2	1,2	2,1	4,1	1,2	2,2	4,9	1,0	2,0	4,8	1,1	1,6
40 g	2,0	0,9	2,5	3,3	1,1	2,3	4,1	1,2	2,3	4,8	0,9	1,9	3,3	0,9	2,5
Gesamtentzug in g															
0 g	0,103	0,103	0,024	0,112	0,064	0,027	0,169	0,091	0,034	0,191	0,079	0,030	0,137	0,031	0,012
6 g	0,106	0,055	0,071	0,111	0,050	0,064	0,137	0,046	0,056	0,084	0,023	0,028	0,098	0,021	0,023
12 g	0,072	0,037	0,065	0,120	0,041	0,070	0,142	0,039	0,058	0,121	0,029	0,037	0,129	0,025	0,036
24 g	0,064	0,039	0,078	0,091	0,034	0,058	0,094	0,028	0,052	0,137	0,027	0,057	0,087	0,019	0,029
48 g	0,061	0,029	0,076	0,087	0,029	0,061	0,119	0,035	0,066	0,192	0,035	0,077	0,057	0,015	0,043

*) Die %-Werte sind abgerundet. **) Die mittleren Fehler schwanken von 1—2%.

Tabelle 13.

n, 2. Ernte, Sand

	K_2O: 0,5 g			1,0 g			2,0 g			3,0 g			4,0 g		
$CaCO_3$	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %
0 g	1,6	0,6	0,3	2,0	0,9	0,4	3,5	0,9	0,4	3,7	1,0	0,3	4,0	0,8	0,3
6 g	1,7	0,6	0,9	1,9	0,6	0,8	2,5	0,7	1,1	2,9	0,9	1,0	3,8	0,8	0,8
12 g	1,5	0,6	1,0	1,9	0,7	0,8	1,8	0,8	1,0	2,7	0,6	1,1	3,2	0,7	0,7
24 g	1,6	0,5	1,0	1,8	0,6	0,8	2,0	0,4	1,5	2,6	0,5	0,8	3,0	0,5	1,0
48 g	0,9	0,7	1,3	1,4	0,5	1,5	1,8	0,6	1,5	2,5	0,5	0,8	2,4	0,5	1,6
Gesamtentzug in g															
0 g	0,227	0,083	0,047	0,252	0,108	0,048	0,434	0,111	0,051	0,270	0,070	0,022	0,219	0,041	0,018
6 g	0,398	0,150	0,206	0,504	0,164	0,208	0,453	0,121	0,202	0,113	0,036	0,039	0,125	0,086	0,026
12 g	0,313	0,124	0,189	0,421	0,154	0,190	0,338	0,144	0,192	0,173	0,040	0,070	0,196	0,043	0,045
24 g	0,208	0,094	0,177	0,362	0,117	0,153	0,359	0,078	0,271	0,360	0,069	0,105	0,144	0,026	0,051
48 g	0,163	0,117	0,223	0,267	0,102	0,284	0,376	0,117	0,314	0,381	0,048	0,120	0,073	0,016	0,049

Tabelle 14.

Hafer, 2. Ernte, Sand.

0 g	0,4	0,5	0,2	0,7	0,5	0,2	1,2	0,5	0,2	1,8	0,5	0,2	1,9	0,6	0,2
6 g	0,4	0,5	0,3	0,7	0,5	0,4	1,3	0,4	0,4	1,8	0,4	0,3	2,2	0,4	0,3
12 g	0,4	0,6	0,3	0,6	0,5	0,4	1,1	0,4	0,4	1,8	0,3	0,3	2,1	0,4	0,3
24 g	0,4	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	0,4	1,5	0,4	0,3	1,7	0,5	0,3
48 g	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,9	0,2	0,4	1,6	0,4	0,5	1,6	0,3	0,2
Gesamtentzug in g															
0 g	0,271	0,368	0,174	0,539	0,377	0,185	1,029	0,382	0,149	1,414	0,363	0,134	1,321	0,418	0,142
6 g	0,352	0,360	0,235	0,594	0,449	0,305	1,134	0,319	0,234	1,531	0,348	0,287	1,958	0,320	0,240
12 g	0,304	0,460	0,263	0,549	0,407	0,319	1,055	0,367	0,367	1,665	0,307	0,242	1,801	0,313	0,235
24 g	0,320	0,346	0,303	0,646	0,299	0,530	1,020	0,327	0,406	1,526	0,361	0,331	1,607	0,432	0,282
48 g	0,252	0,328	0,336	0,524	0,331	0,451	0,865	0,214	0,223	1,450	0,326	0,426	1,944	0,270	0,198

Tabelle 15.

Lein, 1. Ernte, Boden.

	K_2O: 0,5 g			1,0 g			2,0 g			3,0 g			4,0 g		
$CaCO_3$	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %
0 g	2,0	0,6	1,2	2,0	0,6	1,3	2,6	0,7	1,3	2,7	0,7	1,2	2,9	0,7	1,3
12 g	1,9	0,7	1,4	2,5	0,7	1,3	2,6	0,7	1,4	2,3	0,7	1,4	2,5	0,7	1,5
24 g	1,9	0,7	1,6	2,5	0,7	1,3	2,4	0,7	1,4	2,4	0,7	1,6	2,7	0,8	1,6
48 g	1,8	0,7	1,8	2,3	0,7	1,4	2,6	0,7	1,5	2,8	0,8	1,6	2,9	0,8	1,7
96 g	1,6	0,7	2,3	2,1	0,7	1,8	2,8	0,8	1,6	2,2	0,7	2,0	2,6	0,6	2,2
Gesamtentzug in g															
0 g	0,265	0,082	0,166	0,285	0,088	0,175	0,351	0,089	0,172	0,373	0,091	0,167	0,342	0,080	0,156
12 g	0,253	0,092	0,256	0,307	0,087	0,157	0,317	0,087	0,169	0,269	0,081	0,162	0,240	0,073	0,172
24 g	0,248	0,094	0,203	0,312	0,088	0,160	0,330	0,092	0,186	0,315	0,096	0,215	0,290	0,081	0,168
48 g	0,228	0,083	0,230	0,285	0,089	0,181	0,313	0,086	0,181	0,351	0,095	0,200	0,275	0,076	0,167
96 g	0,190	0,084	0,277	0,241	0,082	0,199	0,248	0,072	0,149	0,209	0,063	0,188	0,212	0,053	0,182

Tabelle 16.

Hafer, 1. Ernte, Boden.

0 g	2,8	0,6	0,7	2,8	0,5	0,6	3,2	0,5	0,7	2,9	0,5	0,7	2,3	0,5	0,7
12 g	2,6	0,5	0,6	2,5	0,5	0,8	3,6	0,5	0,7	3,2	0,5	0,6	3,6	0,5	0,7
24 g	2,6	0,5	0,6	2,8	0,6	0,7	2,9	0,5	0,5	3,5	0,5	0,7	3,3	0,5	0,6
48 g	2,6	0,5	0,7	2,8	0,5	0,5	2,8	0,5	0,5	3,8	0,4	0,7	4,2	0,5	0,7
96 g	2,3	0,5	0,8	2,4	0,4	0,5	2,7	0,4	0,6	3,9	0,5	0,7	3,9	0,5	0,6
Gesamtentzug in g															
0 g	0,700	0,143	0,166	0,762	0,134	0,159	0,911	0,135	0,186	0,826	0,146	0,207	0,637	0,149	0,195
12 g	0,713	0,146	0,157	0,698	0,146	0,211	0,960	0,146	0,184	0,916	0,155	0,161	1,096	0,160	0,203
24 g	0,795	0,163	0,184	0,784	0,168	0,185	0,789	0,132	0,149	0,989	0,145	0,197	0,970	0,144	0,185
48 g	0,738	0,139	0,194	0,781	0,133	0,156	0,733	0,130	0,152	1,091	0,106	0,195	1,079	0,138	0,168
96 g	0,665	0,139	0,226	0,703	0,145	0,158	0,737	0,121	0,154	0,869	0,121	0,162	0,968	0,133	0,158

Tabelle 17.

Lein, 2. Ernte, Boden.

	K_2O: 0,5 g			1,0 g			2,0 g			3,0 g			4,0 g		
$CaCO_3$	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %	K %	P_2O_5 %	Ca %
0 g	1,5	0,5	0,8	1,3	0,4	0,7	1,4	0,4	0,7	1,8	0,5	0,7	1,9	0,4	0,8
12 g	1,5	0,5	0,8	1,4	0,5	0,7	1,6	0,5	0,8	1,7	0,4	0,8	1,9	0,5	0,8
24 g	1,4	0,4	0,8	1,5	0,5	0,8	1,7	0,5	0,8	1,8	0,3	0,7	2,2	0,4	0,9
48 g	1,4	0,5	0,8	1,4	0,5	0,9	1,5	0,4	0,7	2,1	0,5	0,8	2,3	0,5	0,8
96 g	1,3	0,5	0,8	1,3	0,4	0,8	1,4	0,5	0,7	2,1	0,4	0,8	2,2	0,5	0,9
Gesamtentzug in g															
0 g	0,619	0,198	0,324	0,598	0,195	0,322	0,626	0,198	0,313	0,798	0,210	0,317	0,666	0,195	0,290
12 g	0,660	0,221	0,348	0,626	0,207	0,333	0,735	0,244	0,347	0,734	0,186	0,354	0,538	0,145	0,246
24 g.	0,589	0,181	0,330	0,662	0,210	0,358	0,747	0,212	0,383	0,795	0,125	0,320	0,876	0,179	0,350
48 g	0,574	0,207	0,339	0,605	0,216	0,393	0,659	0,194	0,327	0,892	0,231	0,325	0,820	0,171	0,309
96 g	0,515	0,181	0,334	0,570	0,190	0,338	0,548	0,179	0,288	0,600	0,123	0,244	0,708	0,147	0,287

Tabelle 18.

Hafer, 2. Ernte, Boden.

0 g	1,2	0,4	0,4	1,4	0,4	0,4	1,45	0,3	0,4	1,5	0,3	0,4	1,1	0,5	0,6
12 g	1,2	0,5	0,3	1,6	0,4	0,4	1,6	0,4	0,3	1,6	0,4	0,3	1,8	0,3	0,4
24 g	1,2	0,4	0,3	1,6	0,4	0,4	1,6	0,4	0,3	1,6	0,4	0,3	1,7	0,3	0,4
48 g	1,1	0,4	0,3	1,4	0,4	0,3	1,7	0,3	0,3	1,9	0,4	0,3	1,8	0,4	0,3
96 g	1,1	0,4	0,3	1,6	0,4	0,3	1,8	0,4	0,3	1,9	0,4	0,4	2,0	0,3	0,4
Gesamtentzug in g															
0 g	0,840	0,304	0,289	0,974	0,287	0,280	1,034	0,235	0,271	1,136	0,242	0,279	0,877	0,360	0,454
12 g	0,820	0,320	0,209	1,126	0,318	0,260	1,197	0,299	0,254	1,199	0,289	0,252	1,294	0,227	0,288
24 g	0,825	0,313	0,220	1,215	0,300	0,292	1,204	0,291	0,253	1,381	0,318	0,285	1,294	0,227	0,288
48 g	0,840	0,282	0,238	1,142	0,301	0,254	1,355	0,276	0,236	1.414	0,272	0,257	1,301	0,270	0,256
96 g	0,800	0,303	0,252	1,017	0,241	0,228	1,228	0,259	0,218	1,350	0,253	0,253	1,320	0,224	0,264

sowohl beim Lein als auch beim Hafer trotz etwa gleichlaufender Kalkentnahme dieses Mißverhältnis. Leider läßt sich wegen zu starker chlorotischer Schädigung nicht die Ernte aus den Sandgefäßen zu einer weiteren Beweisführung heranziehen. Noch besser kommt die erwähnte Erscheinung in den Verhältniszahlen K : Ca zum Ausdruck. Hier zeigt sich, daß beim Lein in der 0,5-g-K_2O-Vertikalreihe die Verhältniszahlen der ersten Ernte wesentlich kleiner ausfallen als die entsprechenden der zweiten Ernte. Diese Beziehung läßt sich etwas weniger deutlich bis zur 2-g-K_2O-Reihe, dann wieder schärfer hervortretend, bis zur 4-g-K_2O-Reihe verfolgen. Die Ursache dieses Verwischens in der 1-g-K_2O-Reihe ist darin zu suchen, daß hier für die erste Ernte noch Kali in überreichlicher Menge zur Verfügung stand, während beim Wachstum bis zur Reife der Vorrat wahrscheinlich verbraucht wurde, so daß für einen Luxuskonsum nichts übrig blieb. Dagegen stand bei der Gabe von 2-g-K_2O Kali bis zur Reife dem Lein im Überfluß zur Verfügung. In den beiden letzten Vertikalreihen hat auch das Anion Cl aus der Kaligabe noch seinen Einfluß geltend gemacht, worauf noch später eingegangen werden soll.

Diese Zusammenhänge gelten in noch viel stärkerem Maße für die Sandkulturen. Es ist aber davon abgesehen, hierauf die Beobachtungen zu stützen, mindestens soweit es den Lein angeht, aus mehrfach an anderer Stelle schon erwähnten Gründen. Aber als eine schöne Bestätigung vorliegender Beobachtungen sollen hier noch die Verhältniszahlen beim Hafer aus der ersten und zweiten Ernte gelten, da diese wesentlich deutlicher als die im Bodengemisch die für das Verhältnis von K : Ca beim Wachstum geltenden Tendenzen zeigen.

Das Ergebnis der Untersuchungen möchte ich folgendermaßen formulieren: Die Kalkaufnahme findet beim Lein im Vergleich zu Hafer verhältnismäßig frühzeitig statt, dabei tritt die Kaliaufnahme beim Lein in der Jugend zwangsläufig zurück. Beide Pflanzen haben somit einen verschiedenen Rhythmus der Nährstoffaufnahme.

Eine weitere Begründung dieser Feststellung ist darin zu sehen, daß die steigenden Kalkgaben in der ersten Ernte beim Lein einen außerordentlich starken Abfall der Verhältniszahlen in der 0,5-g-K_2O-Reihe auszulösen vermochten, während in der 2. Ernte unter dem Einfluß der stärker einsetzenden K_2O-Aufnahme dieser ruckartige Abfall gemildert wird, so daß sämtliche Verhältniszahlen in der Waagerechten eine steigende Tendenz zeigen, mit Ausnahme einiger Zahlen in den Reihen mit höchsten Kaligaben, wo andere Faktoren wirksam geworden sind. Auf dieser, die Kalküberschwemmung hemmenden Natur beruht die bereits von Fischer (30) und noch früher beobachtete günstige Wirkung des Kalis, auch wenn es den Pflanzen ohne Düngung schon in genügender Menge zur Verfügung stand. Als Ergänzung dieser Beobachtungen weise ich auf die Erträge beim Lein in Tabelle 4 hin, wo gerade bei den höchsten Kalkgaben dieses antagonistische Ver-

halten augenfällig wird. Fischer betont, daß die günstige Wirkung des Kalis beim Lein vor allem in der Jugend sehr stark zum Ausdruck kommt und bis zur Ernte anhält. Dies wurde durch die vorliegenden Analysenergebnisse bestätigt und als Erklärung des für Faserlein typischen Rhythmus der Nährstoffaufnahme angeführt. Die Überschwemmung der Pflanze mit Kalzium in der Jugend wird gehemmt und später zur Zeit des hauptsächlichen Kalibedarfs die Kaliaufnahme erleichtert. Die später von Fischer beobachtete günstige Wirkung durch Zugabe von Kaliumphosphat, die die ursprünglich auch bei Buchweizen und Gerste beobachtete Schädigung beim Lein besser zu kompensieren vermochte, soll ausführlicher begründet werden. Zwar ist Fischer durchaus beizupflichten, wenn er unter Hinweis auf das neutrale Verhalten von Kalziumphosphat das Kali-Kalk-Gesetz als Erklärung anführt. Aber das Kaliumphosphat wirkte sich nach seinen Beobachtungen nicht in demselben Maße auch auf die Gerste und den Buchweizen aus und zwar meines Erachtens deshalb nicht, weil der Rhythmus der Nährstoffaufnahme hier ein anderer ist. Beim Lein wird die Hauptmenge an Kali im älteren Stadium aufgenommen, so daß das später gegebene Kaliumphosphat noch wirksam werden konnte, während bei der Gerste, und wahrscheinlich auch beim Buchweizen, das Kali zu spät zur Verfügung stand, so daß es nicht mehr in dem Maße verwertet wurde.

Mehrfach ist bei meinen Beobachtungen auf die Sonderstellung der 3- und 4-g-K_2O-Vertikalreihe aufmerksam gemacht worden. Diese kommt durch die später verabfolgte KCl-Düngung zustande und zwar durch die Wirkung des Anions Cl und die Bildung von $CaCl_2$. Hoagland (32) fand nun, daß das assoziierte Kation aus einer Chloridbindung viel schneller aufgenommen wird, als aus einer CO_3- oder etwa SO_4-Kombination. Darauf beruht auch die bereits von Fischer (30) beobachtete gute Wirkung von Gips zu Lein, die er irrtümlich darauf zurückführte, daß die Schwefelsäure für die Schwefelzufuhr nützlich war, bzw. daß der Gips durch Basenaustausch nährstoffaufschließend gewirkt hat.

Daneben kommt dem Cl-Ion noch eine indirekte Wirkung zu. Es schränkt die Transpiration bei wahrscheinlich geförderter oder wenigstens nicht gehemmter Wasseraufnahmefähigkeit ein, während das SO_4-Ion die Transpiration stark fördert bei wahrscheinlich beschränkter Wasseraufnahmefähigkeit der Wurzeln (33).

Welchen Anteil das Chlorion an der Gesamtausbildung der Pflanze hat, geht aus Tabelle 19 hervor.

Auch diese Zahlen im Verein mit der Kalkaufnahme in den 3- und 4-g-K_2O-Vertikalreihen können als eine erneute Bestätigung meiner obigen Ausführungen angesehen werden. In den mit Boden gefüllten Gefäßen geht beim Hafer mit steigender Kalkgabe ein Abfall des prozentischen Cl-Gehalts konform, während beim Lein in der ersten Ernte ein langsamer Anstieg zu vermerken ist.

Durch die Zugabe von KCl kam es auf Grund des Basenaustausches zur Verdrängung des adsorbierten Kalziums aus dem

Tabelle 19.

Chlorgehalt in %:

	Hafer				Lein			
	1. Ernte		2. Ernte		1. Ernte		2. Ernte	
	K_2O		K_2O		K_2O		K_2O	
$CaCO_3$ in g	0,5 g	4 g	0,5 g	4 g	0,5 g	4 g	0,5 g	4 g
A. Sand								
6	0,51	1,42	0,40	1,62	0,26	0,62	0,23	0,43
48	0,80	1,70	0,26	1,73	0,35	1,10	0,23	1,31
B. Erdgemisch								
12	1,05	2,70	0,31	1,16	0,26	0,74	0,20	0,40
96	0,68	1,36	0,26	2,16	0,31	0,85	0,23	0,40

Bodenkomplex, das an die Stelle von Kalium in die Bodenlösung eintrat. Dieses gilt allerdings nur für den Boden, da der Sand keine Absorptionsfähigkeit besitzt. Aber sowohl für den Sand als auch für den Boden kommt noch die rein physikalische Wirkung von KCl auf die Löslichmachung von $CaCO_3$ hinzu, die im Zusammenhang mit Hoagland schon erwähnt wurde. Sie beträgt nach Ungerer (34) unter Hinweis auf Landolt-Börnstein für $CaCO_3$ in 100 ccm H_2O bei 18° $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ g, bei Gegenwart konzentrierter Lösungen von Neutralsalzen, z. B. NaCl, unter den gleichen Bedingungen $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ g, d. h. im 1. Fall 0,0013 g in 100 ccm H_2O, im 2. Fall dagegen 0,014 g in 100 ccm H_2O, also etwa das 10- bis 11fache. Da diese Menge aber noch verhältnismäßig gering ist, konnten im Sande die jetzt folgenden Beziehungen nicht auftreten. Es muß dabei die 0,5-g-K_2O-Vertikalreihe unberücksichtigt bleiben, da diese Gabe gegenüber den hohen Kalkmengen natürlich nicht ausgereicht hat, auf den Kalk einen größeren antagonistischen Einfluß auszuüben. Doch schon bei einer Gabe von 3 g K_2O, teilweise auch schon von 2 g K_2O beginnen in den horizontalen Reihen die Verhältniszahlen K : Ca abzufallen, was zunächst merkwürdig erscheint, da die Kaligaben doch weiter ansteigen. Aber eine Erklärung dafür ist schon gegeben, wenn man sich an die oben erwähnten Zusammenhänge erinnert.

Charakteristisch für den Lein ist es nun, daß diese abfallende Tendenz in den Verhältniszahlen der horizontalen Reihen im ersten Wachstumsstadium, also nach der ersten Ernte, deutlich erkennbar ist, in der zweiten Ernte dagegen nichts mehr davon in Erscheinung tritt. Beim Hafer haben wir genau dieselben Beziehungen, nur umgekehrt. Hier ansteigende Verhältniszahlen in der ersten Ernte und abfallende nach dem zweiten Schnitt. Vergleicht man damit das Verhalten des prozentischen Chlorgehalts, so wird man dazu ein Analogon finden: beim Hafer in der ersten Ernte einen Abfall von 2,70 auf 1,36%, beim Lein einen Anstieg von 0,74 auf 0,85%, in der zweiten Ernte dagegen beim Hafer einen Anstieg von 1,16 auf 2,16%, beim Lein beide Male gleichbleibende Ergebnisse 0,40%.

Da diese Cl-Aufnahme, wie aus dem bereits vorher Gesagten hervorgeht, hauptsächlich aus $CaCl_2$ hervorgegangen sein muß, so kann auch dieses als ein Beweis für den anders gearteten Rhythmus der Nährstoffaufnahme beim Lein angesehen werden. Auch die häufig im Schrifttum vertretene Ansicht der Chlorfeindlichkeit kalkfliehender Pflanzen dürfte wesentlich auf dieser Erscheinung beruhen.

So konnte Masaeva (35) beobachten, daß das Kränkeln der Leinpflanzen bei Zugabe von Cl als $CaCl_2$ wesentlich stärker war als bei Zugabe von NaCl. Bei den niedrigen Gaben wurde gegen Ende der Vegetationsperiode die Schädigung ausgeglichen. Auch diese Erkenntnis kann als eine weitere Bestätigung dieser Beobachtungen über die zeitliche Kali- bzw. Kalkaufnahme angesehen werden. Erwähnt sei hier auch die Beobachtung von Masaeva, daß eine Cl-Gabe zur Zeit des Blumenknospens gegeben, beim Flachs auf den Strohertrag eine wesentlich geringere Depression ausgelöst hat als die gleiche Dosis vor der Aussaat. Hiermit im Zusammenhang steht die von E. Morgenroth (36) im Durchflußversuch ebenfalls beobachtete Empfindlichkeit von Lein im Vergleich zu Gerste gegenüber dem Wechsel der Reaktion. Morgenroth stellte fest, daß jede Änderung der Reaktion bis zur Blüte das Wachstum des Faserleins vernichtete, und daß erst von diesem Wachtumsstadium ab die schädliche Einwirkung der Reaktion eine wesentlich geringere war; ja, es fand sogar nach dem Blühbeginn noch eine Ausbildung reproduktiver Organe statt. Als viel weniger empfindlich dagegen hatte sich gegenüber einem Wechsel der Reaktion die Gerste erwiesen, die selbst bei dem frühesten Wechsel noch Kornansatz zeigte.

Der Grund ist folgender: Durch die Zugabe von HCl entstand $CaCl_2$, was eine gesteigerte Aufnahme von Ca-Ionen zur Folge hatte. Der den physiologischen Erfordernissen angepaßte Aufnahmerhythmus des Leins läßt aber trotz Vorhandenseins von $CaCl_2$ im Nährsubstrat die Ausbildung reproduktiver Organe zu, weil die Aufnahme des Kalziums um die Zeit des Blühbeginns zugunsten einer starken Aneignung von Kali wesentlich eingeschränkt wird.

Die Pflanze besitzt kein Ausschlußvermögen, aber ein ihrer Art angepaßtes Wahlvermögen, das zeitlichen Verschiebungen unterworfen ist.

Wie bereits erwähnt wurde, gelang es durch Benetzen mit Eisenvitriollösung, schon chlorotische Pflänzchen zu heilen. Folglich muß die durch Kalk bedingte Chlorose sekundär auf die Eisenversorgung einen Einfluß ausüben. Es ist dieses eine alte Erkenntnis, die schon im Jahre 1912 von P. Mazé, Ruot und Lemoigne (37) näher untersucht worden ist.

P. L. Gile und J. O. Carrero (38) gelang es, an Reis und Ananas nachzuweisen, daß Eisen, das einmal nach den Blättern transportiert ist, unbeweglich bleibt. Die Prjanischnikowsche Schule konnte durch die Methode der isolierten Nährlösungen diese Erkenntnis auch auf Mais ausdehnen. In neuerer Zeit hat sich ganz besonders Scholz (39) der Kalkschädigung angenommen.

Danach handelt es sich bei der durch eine Kalkdüngung hervorgerufenen Schädigung um das gestörte Verhältnis der drei Nährstoffe Kalk, Eisen und Phosphorsäure im Boden und in der Pflanze. Der Einfluß des Kalis wird m. E. nicht gebührend berücksichtigt. Zieht doch auch die Hoffersche (40) Methode, die später von Eckstein (41) bestätigt wurde, zur Bestimmung der Kalibedürftigkeit eines Bodens ihre Rückschlüsse aus dem Vorhanden-

sein von Eisen in den Halmknoten der Maispflanze. Aber abgesehen davon geht doch aus der Gegenüberstellung der Erträge hervor, daß Kaliüberschuß den durch den Kalk bedingten Ertragsabfall wesentlich mildert. Auch über die Rolle der Phosphorsäure weichen die hier vorliegenden Ergebnisse von den Resultaten von W. Scholz ab, der in Gefäßkulturen, abgesehen vom Eisenhaushalt, die Kalkschädigungen ausschließlich auf die Schädigungen der Phosphorsäure zurückführt. Zwar geht auch in meinen Versuchen mit steigenden Kalkabgaben eine geringere Phosphorsäureaufnahme konform, doch ist diese noch immer so hoch, daß daraus noch keine Ertragsschädigung erwachsen kann. Dieses ist eine Beobachtung, die auch von Boguslawski (42) unter Hinweis auf Münter in seinem Versuch andeutet.

Trotz doppelter Kalkabgabe zeigte sich im Erdgemisch die Chlorose nicht. Dieses muß nach Mewius (43) unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Gile-Carrero 1916 und Uspenski 1925 darauf zurückzuführen sein, daß im Boden in den meisten Fällen organische Verbindungen in ausreichendem Maße vorhanden sind, um eine Eisenkomplexsalzbildung zu gestatten. Jedenfalls ist es bei Anwesenheit von Eisen als Komplexsalz in Nährlösungen gelungen, unabhängig von der Wasserstoffzahl, Chlorose zu verhindern.

Auf eine direkte Kalkwirkung in der Pflanze kann nicht geschlossen werden, weil auch die Kalkaufnahme selbst, und zwar wie von Boguslawski (44) festgestellt hat, unabhängig von der Substanzbildung mit zunehmender Kalkung herabgesetzt wurde.

Es muß also hier ein anderer Faktor vorliegen, der entgegengewirkt hat. Dieser ist das Kali, das immer mehr in das Minimum gerät, und dadurch Störungen innerhalb des Lebensprozesses auslöst. So ist z. B. der Öllein durch eine Kalkung nicht geschädigt worden, weil seine Leistungsfähigkeit für Faser wesentlich geringer ist als beim Faserlein, bei dem die Ausbildung der Faser im Vordergrund steht, die eine ausreichende Kaliversorgung zur Voraussetzung hat. Bei Öllein überwiegt in den Stroherträgen der Kalkgehalt, bei Faserlein das Kali (45). Es werden nach den Untersuchungen von Boguslawski in erster Linie solche Faktoren durch eine Kalkung verschoben, die für die Faserausbildung des Faserleins maßgeblich sind. Auf die Bedeutung des Kalis wurde in diesem Zusammenhang bereits hingewiesen.

Diese Feststellungen stehen m. E. in engem Zusammenhang mit den hier vorliegenden Ergebnissen. Das Elektionsvermögen des Leins ist zunächst mit Rücksicht auf seine physiologischen Erfordernisse auf eine geringe Aufnahme von Kali eingestellt, während dem Kalk, der zur Ausbildung der Mittellamelle, einer Kalziumpektinverbindung, erforderlich ist, von der Pflanze bei der Aufnahme nichts in den Weg gestellt wird. Im späteren Wachstumsstadium, mit Einsetzen der Faserausbildung wandelt sich das Wahlvermögen zugunsten der Kaliaufnahme. Damit tritt die Kaliaufnahme in den

Vordergrund und die Kalkaufnahme wird erschwert[1]. Alten und Götze (46) weisen darauf hin, daß gerade für die Ausbildung im Jugendstadium ein weites Stickstoffkaliverhältnis eine gute Ausbildung der Faser gewährleistet. Wahrscheinlich steht auch diese Tatsache mit der großen Aneignungsfähigkeit von Kalk im Jugendstadium des Faserleins im Zusammenhang. Nach Schmalfuß (47) soll der größere Wasserreichtum der äußeren Schichten der Zellwand bei der Kalizufuhr eine technische Faser von größerer Weichheit und Elastizität erzeugen, während umgekehrt durch eine Kalkung die Fasern härter und spröder werden. Es gelang ihm nachzuweisen, daß die zweiwertigen Anionen (SO_4) den Wasserverbrauch der Pflanzen erhöhen, die einwertigen ihn erniedrigen und damit der bekannten antagonistischen Wirkung von Ca : K hinsichtlich ihrer Kolloidaktivität bzw. ihrer hydratisierenden Tendenz ein vollständiges Analogon gegenüberzustellen.

Auch Masaewa (48) kommt auf Grund der bis heute vorhandenen experimentellen Angaben über die physiologischen, durch Chloride hervorgerufenen Veränderungen zu dem Schluß, daß eine Cl-Anreicherung in der Pflanze gleichbedeutend ist mit Zunahme der Wassermenge und einer Veränderung der Aschenzusammensetzung, die in einer Störung der Kalium-Kalziumernährung ihre Erklärung findet.

Interessant ist noch die Feststellung von Schmalfuß (49), und auch die von Tobler (50), daß parallel mit steigenden SO_4-Gaben ein zunehmender Fasergehalt geht, der dagegen mit steigenden Chloridgaben stetig abnimmt. Als Ursache dieser Veränderung ist nach seiner Ansicht nicht nur das kleinere Volumen der Faserzellen bei SO_4-, das größere bei Cl-Gaben anzusprechen, auch der Holzkörper und die Parenchymzellen der Rinde müssen im ersten Fall mit ihrem Anteil am Aufbau des Stengels zurücktreten, im zweiten Fall stärker beteiligt sein.

Ich möchte diese Annahme noch dadurch zu stützen versuchen, indem ich darauf hinweise, daß Cl-Ionen eine vermehrte Aufnahme von Kalzium veranlaßt haben, wie es meine Versuche deutlich zeigen. Eine Beobachtung, die auch Masaewa machte, wobei mit der Anreicherung von Cl und CaO der K_2O-Gehalt in der Pflanze nicht anwuchs, sondern sogar abnahm. Dieses Kalzium hat nun der Pflanze zu einer vermehrten Ausbildung der Mittellamelle, einer Kalzium-Pektinverbindung, zur Verfügung gestanden und damit einer erhöhten Verholzung der Holzkörper und Parenchymzellen der Rinde Vorschub geleistet. Eine weitere Bestätigung liefern die Feldversuche von Schmalfuß aus dem Jahre 1934, wo er eine die Verholzung begünstigende Wirkung des Kalkes, eine sie vermindernde des Kalis feststellen konnte.

Um einem eventuellen Einwand zu begegnen, soll eine Einschränkung gemacht werden. Dieses Verhalten wird nur dann sich nachweisen lassen, wenn der Kalkgehalt des Bodens bzw. eine Kalkung gewisse Normen nicht überschreitet, sonst muß es unter

[1]) Wie die Elektion aufzufassen ist, habe ich an anderer Stelle schon erwähnt (s. Seite 216, Abs. d).

dem Einfluß des Cl-Ions zu den bereits erwähnten chemisch-physikalischen Veränderungen kommen, die die spezielle Cl-Wirkung überdecken.

Zusammenfassung.

Im Sand zeigte der Lein frühzeitig Chloroseerscheinung, die durch Eisengaben zum Teil wieder behoben werden konnten. Beim Hafer ist hier keine Schädigung durch starke Kalkung zu erkennen. Im Bodengemisch entwickelte sich der Lein durchaus normal und blieb trotz ganz geringer Vergilbung gesund und gleichmäßig bei den höchsten Kalkgaben. Die Zugabe von Cl in Form von KCl hatte auf Hafer keinen Einfluß. Dagegen wirkten die Cl-Ionen beim Lein ausgesprochen schädlich, z. T. bedingt durch erhöhte Mobilisierung des Kalziums. Der wesentlichste Unterschied zwischen Hafer und Lein liegt jedoch in der zeitlichen Aufnahme der Nährstoffe begründet.

Es ist in der Entwicklung des Leins zu unterscheiden zwischen einem Jugendstadium, in dem die Pflanze sich ganz besonders gegen hohe Kalkgaben empfindlich zeigt und einem älteren Stadium. Die Hauptmenge an Kali wird beim Faserlein für die Ausbildung der Faser benötigt, und damit erst später aufgenommen. Voraus geht dieser Kalianeignung die Aufnahme von Kalk, der zur Ausbildung der Gerüstsubstanzen notwendig ist. Ermöglicht wird dieses Geschehen durch das zeitlich wechselnde Aufnahmevermögen für Kalk und Kali im Verlauf des Wachstums. Einem verhältnismäßig gering ausgebildeten Kaliaufnahmevermögen in der Jugend scheint ein geringes Anschlußvermögen für Kalk gegenüberzustehen. Dabei besteht die Aufnahme nicht in einer Selektion bestimmter Stoffe, sondern in einer mehr oder weniger weitgehenden Konzentrationsverschiebung der im Nährsubstrat gebotenen Ionen unter dem Einfluß der inneren Wachstumsfaktoren.

Schrifttum.

1. Giersberg, Fr. L.: Flachsbau. Leipzig, 1877, H. 23.
2. Giersberg, Fr. L.: Ebenda.
3. Ehrenberg, P.: Das Kalk-Kaligesetz. Landw. Jahrb. Berlin, 1920, **54**, 1—159.
4. Opitz, K.: Die Ernährung und Düngung des Leins. Der Forschungsdienst, Berlin, 1936, **1**, 1—159.
5. Ehrenberg, P.: a. a. O. wie bei 3.
6. Ehrenberg, P.: a. a. O. wie bei 3.
7. Heinrich, R., u. O. Nolte: Dünger und Düngen. Berlin, 1918, 7. Aufl.
8. Wagner, P.: Arbeiten der D. L. G., Nr. 96, S. 350—353, Berlin, 1904.
9. Burdenski, D.: Vierjähriger Abbau des Kalium im Boden. Einfluß auf die Erträge. Diss. Univ. Königsberg, 1937.
10. Scholz, W.: Über die Chlorose des Leins in ihrer Beziehung zum Eisen und Mangan. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **34**, 1934, 296—311.
11. Lundegårdh, H.: Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Verlag G. Fischer, Jena, 1932.
12. Wießmann, H.: Über den Einfluß des Kaliums auf die Entwicklung der Pflanzen und ihren morphologischen und anatomischen Bau bei besonderer Berücksichtigung der landw. Kulturpflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **2**, 1923, 1—79.

13. Fischer, W.: Zur Frage der Kalkempfindlichkeit unserer Kulturpflanzen und ihrer Behebung durch Kali. Landw. Jahrb., Berlin, 58, 1923, 1—53.
14. Kappen, H.: Die Bodenazidität. Berlin, 1929.
15. Arrhenius, O.: Kalkfrage, Bodenreaktion und Pflanzenwachstum. Stockholm, 1926.
16. Boguslawski, E. v.: Der Einfluß des Reaktions- und Kalkzustandes des Bodens auf die Ertragsleistung von Lein. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 6, 1938, 209—231.
17. Morgenroth, E.: Reaktionsansprüche von Faser- und Ollein im Vergleich zu Gerste. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 6, 1938, 232—254.
18. Hoagland, D. R.: The Absorption of Ions by Plants Soil Sci. 16, 1923, 225—246.
19. Domontowitsch, M., u. G. Abolina: ref. in Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, 12, 1928, 418.
20. Scholz, W.: wie Nr. 10.
21. Morgenroth, E.: wie Nr. 17.
22. Boguslawski, E. v.: wie Nr. 16.
23. Nehring, K.: Landw. Jahrb., Berlin, 69, 1929, 105—148.
24. Fabian: Der Einfluß der Ernährung auf den Fasergehalt und die Faserbeschaffenheit von Bastfaserpflanzen. Faserforschung, 1928, 1—115.
25. Fischer, W.: wie Nr. 13.
26. Liechti, P. u. E. Trunninger: Über die Kalkempfindlichkeit des Leins. Dtsch. landw. Presse, Berlin, 93, 1920, 65—66.
27. Selle, H.: Faserforschung, 7, 1928, 1—115.
28. Mewius, W.: Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstums. München 1927.
29. Fischer, W.: Über die Kalkempfindlichkeit des Leins. Dtsch. landw. Presse, Berlin, 53, 1919, 436—437.
30. Fischer, W.: wie Nr. 13.
31. Fischer, W.: wie Nr. 13.
32. Hoagland, D. R.: wie Nr. 18.
33. Schmalfuß, K.: Experimentelle Studien der Physiologie und Ernährung des Leins im Hinblick auf die Ausbildung von Faser und Öl. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 1, 1936, 1—37.
34. Ungerer, E.: Austauschreaktion schwerlöslicher Karbonate mit Permutit. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, 27, 1933, 68—73.
35. Masaewa, M.: Zur Frage der Chlorophobie der Pflanzen. Bd. I, S. 39—56, Berlin 1936.
36. Morgenroth, E.: wie Nr. 17.
37. Mazé, P., Rout, et Lemoigne: Recherche sur la Chlorose végétale provoquée par le carbonate de calcium, présentée par M. E. Roux. Comptes rendus des séances de l' Académie des Sciences. Paris, 1912, 435—437.
38. Gile, P. L. u. J. O. Carrer: Immobility of Iron in the plant. Journ. of Agricult. Research, Washington, 7, 1916, 83—86.
39. Scholz, W.: Weitere Versuche über die Kalkempfindlichkeit des Leins. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 2, 1936, 230—245.
40. Scharrer, K., u. W. Schropp: Untersuchungen über den Kalium-Eisen-Antagonismus in der Pflanze. Ernährung der Pflanze, Berlin, 30, 1934, 30—31.
41. Eckstein, O., u. A. Jacob: Der Kali-Eisenantagonismus in der Pflanze als Grundlage einer Methode zur Feststellung des Kalibedürfnisses der Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, 14, 1929, 205—245.
42. Boguslawski, E. v.: wie Nr. 16.
43. Mewius, W.: wie Nr. 28.
44. Boguslawski, E. v.: wie Nr. 16.
45. Boguslawski, E. v.: wie Nr. 16.
46. Alten, F., u. G. Götze: Der Einfluß der Düngung auf den Ertrag und die Güte der Flachsfaser. Ernährung der Pflanze, Berlin, 1936, 1—14.
47. Schmalfuß, K.: wie Nr. 33.
48. Masaewa, M.: wie Nr. 35.
49. Schmalfuß, K.: wie Nr. 33.

50. Tobler, Fr.: Die Düngung von Faserpflanzen und ihre Beurteilung. Ernährung der Pflanze, Berlin, **30**, 1934, 313—318.
51. Turtschin, Th. W.: Einfluß des Kalis auf den Stickstoff und Kohlenhydratenwechsel in Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **35**, 1934, 343—357.
52. Morse, Fred W.: Relations Between Calcium Carbonate, Certam Fertilizer Chemicals etud The Sorl Solutun. Sorl Science, New Yersey, **15**, 1923, 75—91. [313]

Weitere Untersuchung der durch Chloride hervorgerufenen Blattrandkrankheit der Johannisbeere.

Von **Karl Boresch.**
(Aus dem Institut für Pflanzenernährung an der Landwirtschaftlichen Hochschule Tetschen-Liebwerd.)

Eingegangen: 15. April 1939.

Die folgenden Ausführungen gelten der weiteren Klärung der im Gefolge einer Chloridzufuhr an Johannisbeerblättern auftretenden Schäden. Es handelt sich dabei um eine Blattranderkrankung, die in ihrem Erscheinungsbild der oft beschriebenen durch Kaliummangel bedingten Blattrandkrankheit der Johannisbeere ähnelt. Die Blattränder werden zunächst chlorotisch und sterben schließlich unter Braunfärbung ab, später kann das ganze Blatt in Mitleidenschaft gezogen werden, bis es verdorrt und abgestoßen wird.

Wie in der ersten Mitteilung (1) über diese Stoffwechselstörungen ausgeführt wurde, ist die Gefahr für das Auftreten der K-Mangelchlorose der Blattränder dann gegeben, wenn der K-Gehalt in der Blatt-Trockensubstanz wenig unter 1,0 % gesunken ist. Die ähnlichen Beschädigungen der Blätter durch Düngung der Sträucher mit Chloriden können jedoch auch bei höheren K-Gehalten sich ergeben. Für die Entstehung der chlorotisch-nekrotischen Erscheinungen an Blättern infolge K-Mangels wurde (1, S. 226) folgende Vorstellung im Anschluß an die Arbeiten von Kurt Noack (2) und Pirson (3) entwickelt und gestützt[1]). Durch die Senkung des K-Gehaltes der Blätter

[1]) Die jüngst erschienene Arbeit von A. Pirson: „Über die Wirkung von Alkaliionen auf Wachstum und Stoffwechsel von Chlorella" (Planta [Berlin] **29**, 231—261, 1939) bringt weitere sehr wertvolle Einblicke in die Zellphysiologie von Chlorella in ihren Beziehungen zum Kalium. Der K-Mangel äußert sich zunächst in einer Hemmung der Photosynthese, die durch K-Zusatz sofort behoben werden kann, in weiterer Folge infolge des Ausfalles von Assimilaten in einer durch K-Zufuhr immer noch reparablen Behinderung auch anderer Synthesen wie Eiweiß- und Chlorophyllbildung (Chlorose) und schließlich in einer irreversiblen Schädigung, die bei völliger Sistierung der Photosynthese mit photooxydativen Vorgängen verbunden sein kann. In einigen Assimilationsversuchen, besonders bei stärkerem K-Mangel und langandauernder Belichtung, war ein Chlorophyllabbau zu erkennen. Ob es sich dabei um eine Photooxydation handelt, läßt sich vorerst nicht entscheiden, weil die K-Mangelzellen noch Sauerstoff ausscheiden. Doch erscheint die Annahme wohl nicht abwegig, daß schon bei geschwächter Assimilation die oxydative Energie des bestrahlten Chlorophylls sich anderen Acceptoren zuwendet, unter denen der Farbstoff selbst der am nächsten stehende ist. In den durch K-Mangel irreversibel geschädigten Blatträndern der Johannisbeerblätter, die ihr Assimilationsvermögen schon vor dem Auftreten der Chlorose eingebüßt haben, könnten bei starker Sonnenbestrahlung die Bedingungen für eine photooxydative Selbstzerstörung des Chlorophylls sehr wohl gegeben sein, wenngleich der unmittelbare Beweis für diesen Zusammenhang noch aussteht.

unter den kritischen Wert kommt es zu einem Leerlauf des Assimilationsapparates, und die von der Kohlensäure als dem natürlichen Acceptor abgelenkte Oxydationsenergie des auch in der lebenden Pflanze fluorescierenden Chlorophylls führt zu seiner photooxydativen Zerstörung und weiterhin zum Absterben der so geschädigten Blattgewebe. Mit dem photodynamischen Charakter der Blattschädigung steht auch die Beobachtung im Einklang, daß die Blattrandkrankheit an dem Sonnenlicht voll exponierten Zweigen besonders stark auftritt. Auf dieser Grundlage erschien auch die Entstehung der Chloridschäden einer Deutung zugänglich. Die Untersuchung von gesunden und erkrankten Blättern der mit KCl bzw. NH_4Cl gedüngten Sträucher ergab, daß verhältnismäßig K-reiche Blätter noch gesund bleiben, wenn das Äquivalentverhältnis K/Cl über 1 liegt, während die Cl-bedingte Blatterkrankung dann eintritt, wenn dieses Verhältnis unter 1 gesunken ist, also ein durch K nicht gedeckter Cl-Überschuß vorhanden ist (1, S. 220). In K-reichen, an sich zur Blattrandkrankheit nicht disponierten Johannisbeerblättern müssen die im Überschuß vorhandenen Cl-Ionen die K-Ionen in irgend einer Weise inaktivieren. Da die in die Blätter eindringenden, durch K nicht neutralisierten Cl-Ionen nicht frei sein können, sondern von anderen Kationen begleitet sein müssen, liegt die Annahme nahe, daß diese Kationen das K von den plasmatischen Grenzflächen verdrängen, an denen sich die Photosynthese oder ein für sie wesentlicher Vorgang abspielt. Der Austausch des K gegen Kationen anderen Hydratationsgrades müßte zu einer Änderung des Quellungszustandes dieser Grenzflächen und damit zu einer Störung der Kohlensäureassimilation führen. Welche Kationen an diesem Basenumtausch innerhalb der Pflanze teilnehmen könnten, ist eine noch offene Frage geblieben. Doch wurde bereits auf russische Arbeiten (4) hingewiesen, denen zufolge der Chlorophobie allgemein ein K-Ca-Antagonismus zugrundeliegen soll. Durch Cl-Zufuhr werde die Ca-Aufnahme gesteigert und durch das Überwiegen des Ca über das K in der Pflanze entstünden Stoffwechselstörungen, wie sie gewöhnlich mit K-Mangel einhergehen. In der Tat könnte dem besonders kolloidaktiven Ca-Ion eine derartige Verdrängung sorbierter K-Ionen zugemutet werden.

Zur Herbeiführung von Chloridschäden wurde die bisherige Düngung (1) der im Freiland stehenden Johannisbeersträucher der Sorten „Holländische rote“ und „Kirsch-Johannisbeere“ im Frühjahr 1938 entsprechend umgestellt. Tabelle 1 gibt über die Art und Höhe der Salzgaben sowie über die mit ihnen zugeführten Reinnährstoffmengen Aufschluß. Bis auf vereinzelte Sträucher, die wie bisher gedüngt wurden, wurden verschiedene Chloride teils einzeln, teils in Kombination mit KCl bzw. K_2SO_4 verabfolgt. Demgemäß treten K_2O und Cl in einfachen und doppelten Gaben auf. Das K/Cl-Verhältnis in der Düngung der einzelnen Sträucher beträgt 2:1, 2:2, 1:1 bzw. 1:2.

Aus Tabelle 2 sind die bisherigen Düngungen und die am 17. März 1938 den einzelnen Sträuchern gegebenen Salze (Mengenangaben in Tabelle 1) zu ersehen. Weiter unterrichtet sie über das Auftreten, die Entwicklung und den Grad der Blattkrankheit, der wie früher (1) mit I (gesund) bis V (schwerster Erkrankungsgrad) gekennzeichnet wird.

Wie in den vorangegangenen Jahren trat die Blattranderkrankung in starkem Maße bei den mit Kalium mangelhaft versorgten Sträuchern auf, ganz besonders bei den ohne jede Düngung belassenen Sträuchern (Holl. Nr. 31 und Kirsch Nr. 32). Nicht viel besser war der Stand der Sträucher Holl. Nr. 1 ($[NH_4]_2SO_4$), Nr. 25 (Superphosphat) und Nr. 28 (NH_4Cl), während

Tabelle 1.

	48,8 g Cl	55,1 g SO_3	97,6 g Cl
19,3 g NH_4-N	73,6 g NH_4Cl		
38,6 g NH_4-N			147,2 g NH_4Cl
64,9 g K_2O	102,7 g KCl		
64,9 g K_2O + 19,3 g NH_4-N	73,6 g NH_4Cl	+ 120 g K_2SO_4	102,7 g KCl + 73,6 g NH_4Cl
64,9 g K_2O + 42,7 g Na_2O	80,5 g NaCl	+ 120 g K_2SO_4	102,7 g KCl + 80,5 g NaCl
64 9 g K_2O + 38,6 g CaO	150,7 g $CaCl_2 \cdot 6$ aq.	+ 120 g K_2SO_4	102,7 g KCl + 150,7 g $CaCl_2 \cdot 6$ aq.
64,9 g K_2O + 27,8 g MgO	140 g $MgCl_2 \cdot 6$ aq.	+ 120 g K_2SO_4	102,7 g KCl + 140 g $MgCl_2 \cdot 6$ aq.
128 g K_2O	102,7 g KCl	+ 120 g K_2SO_4	205,6 g KCl
128 g K_2O | 139,3 g KNO_3 (19,3 g NO_3-N)	+ 102,7 g KCl		

bei der Kirschjohannisbeere die Düngung mit NH_4Cl (Strauch Nr. 11 und 16) den Erkrankungsgrad gegenüber „Ungedüngt" deutlich herabgesetzt hat. Die dauernd mit chlorfreien Kalisalzen gedüngten Sträucher blieben am längsten gesund, bei der Holl. Jb. Nr. 2 (K_2HPO_4), Nr. 8 (K_2SO_4) und Nr. 30 (2 KNO_3), bei dem Kirsch-Jb.-Strauch Nr. 12 (K_2SO_4) und Nr. 34 (K_2SO_4) + $[NH_4]_2SO_4$). Wenn bei diesen Sträuchern dennoch schwache Blattrandschäden am Ende der Wachstumszeit auftraten, so kann dies nur daran liegen, daß die beibehaltene Höhe der K-Gaben für die inzwischen stattlich herangewachsenen Sträucher nicht mehr zulangte. Ebensowenig konnte bei dem bis 1937 ungedüngten Kirsch-Jb.-Strauch Nr. 3 die 1938 erstmalig verabfolgte K_2SO_4-Gabe die Blattranderkrankung verhüten.

Wie wirkte sich nun die Zufuhr von Chloriden aus? Bei der Holländischen roten Johannisbeere, Strauch Nr. 4 und 5 mit dem K/Cl-Verhältnis 2 K : 1 Cl in der Düngung, trat erst gegen das Ende der Wachstumszeit eine mäßige Erkrankung auf, bei Nr. 27 mit 2 K und 2 Cl war sie verschärft. Die mit K_2SO_4 + Chlorid im Verhältnis 1 K zu 1 Cl gedüngten Sträucher Nr. 13 (+ NaCl), 21 (+ $CaCl_2$) und 29 (+ $MgCl_2$) erkrankten in verschiedenem Ausmaß, z. T. frühzeitig und schwer, während Nr. 35 (+ NH_4Cl) nur eine spät einsetzende, leichte Blattranderkrankung aufwies. Für die Schädlichkeit der beigedüngten Chloride ergäbe sich daher folgende Abstufung:

Strauch Nr. 21 13 29 35

$Ca > Na > Mg > NH_4$.

In dem andernorts (1, S. 197) mitgeteilten Gefäßdüngungsversuch reihten sich die Chloride: $Na > Ca, NH_4 > Mg$. Es ist möglich, daß die bei den Freilandsträuchern aufgetretene Umreihung der Kationen mit der Unterschiedlichkeit der vorangegangenen Düngung zusammenhängt. Die Kombination von KCl mit einem anderen Chlorid, in der somit auf 1 K 2 Cl kommen,

Tabelle 2. Die römischen Ziffern bedeuten: I = Blätter vollständig gesund; II = Einzelne Zweige mit blattrandkranken Blättern; III = Blattrandkranke Blätter überwiegen, gesunde Blätter noch zahlreich; IV = Gesunde Blätter nur noch vereinzelt, Blattranddürre fast allgemein; V = Schwerste Fälle der Erkrankung, Laub größtenteils verdorrt und abgefallen.

Holländische rote Johannisbeere:

Strauch Nr.	Düngung 1932—1937	Düngung am 17. März 1938	Blattzustand					Bemerkungen
			12. Juni	24. Juni	9. Juli	30. Juli	2. Spt.	
1	$(NH_4)_2SO_4$ seit 1934	$(NH_4)_2SO_4$	I/II	II/III	III/IV	IV	V	
2	K_2HPO_4	K_2HPO_4	I	I	I	I	II	
4	KNO_3	$K_2SO_4 + KCl$	I	I	I	II	III	
5	KCl	$KNO_3 + KCl$	I	I	I	II	III	
8	K_2SO_4	K_2SO_4	I	I	I	I	II	9. Sept. viele Blätter verdorrt
13	Na_2SO_4	$K_2SO_4 + NaCl$	I/II*	II	III	III/IV	V	*Wenige Blätter randchlorotisch
18	K_2SO_4 seit 1933	$KCl + MgCl_2$	I	I	I	I*	II*	*Viele hellgrüne Blätter
19	K_2SO_4 33 u. 37, dazw. ohne Dg.	$KCl + CaCl_2$	I	I	II*	III	IV	*Diff. Randchlorose vorrherrschend
21	$Ca(NO_3)_2$	$K_2SO_4 + CaCl_2$	III	III	III/IV*	V	V	*Hellgrüne Blätter
22	$NaNO_3$	$KCl + NaCl$	II	II	III*	V	V	*z. T. diffuse Chlorose
25	Superphosphat	Superphosphat	II/III	III	III*	IV*	V	*Viele hellgrüne Blätter
26	$K_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4$ seit 1933	$KCl + NH_4Cl$	I	I	I	I	I	
27	$(NH_4)_2SO_4$	2 KCl	I	I	I	III	IV	
28	NH_4Cl	NH_4Cl	II	II/III	III/IV	V	V	
29	Ohne Düngung seit 1934	$K_2SO_4 + MgCl_2$	I/II	II	III*	III	IV	*Diffuse Chlorose
30	2 KNO_3 seit 1933	2 KNO_3	I	I	I	I	II	
31	Ohne Düngung	Ohne Düngung	III	III*	IV**	V	V	*Hellgrüne Blätter **Fast ganz chlorotisch
35	$(NH_4)_2SO_4$	$K_2SO_4 + NH_4Cl$	I	I	I	II	II	

Große Kirsch-Johannisbeere:

Strauch Nr.	Düngung 1935—1937	Düngung am 17. März 1938	Blattzustand			Bemerkungen
			19. Juli	30. Juli	3. Sept.	
3	Ohne Düngung	K_2SO_4	I	II*	III	*z. T. rotüberlaufene Blätter
6	Ohne Düngung	$K_2SO_4 + KCl$	III	III*	IV*	*Hellgrüne Blätter
7	Ohne Düngung	$K_2SO_4 + NaCl$	II/III	III*	IV	*Einz. Blätter rot überlaufen
9	NH_4Cl	$K_2SO_4 + NH_4Cl$	II/III	III/IV*	IV	*z. T. rot überlaufen
10	KCl	$KNO_3 + KCl$	I	II	II	
11	Ohne Düngung	NH_4Cl	II	II*	III*	*Viele rotüberlaufene Blätter
12	K_2SO_4	K_2SO_4	I	I*	II*	*Viele gelbgrüne Blätter mit diffuser Chlorose
14	Ohne Düngung	$K_2SO_4 + MgCl_2$	III	III/IV*	IV*	*z. T. rotüberlaufene Blätter
15	Ohne Düngung	$K_2SO_4 + CaCl_2$	II/III	III*	III/IV*	*Bes. an d. herausrag. Trieben starke Blattranddürre
16	NH_4Cl	2 NH_4Cl	II/III	II/III	III	
17	2 KCl	2 KCl	I*	II*	II*	*Hellgrüne Bl., im August einzelne rot überlaufen
20	$KCl + NH_4Cl$	$KCl + NH_4Cl$	I	I/II*	II	*Spitzenbl. rot überlaufen
23	$KCl + (NH_4)_2SO_4$	$KCl + NaCl$	I	I/II*	II	*Spitzenbl. rot überlaufen
24	$KCl + NH_4NO_3$	$KCl + MgCl_2$	I	I/II	I/II	
32	Ohne Düngung	Ohne Düngung	III	IV*	V	*Meist diffuse Chlorose
33	$KCl + 2\,NH_4NO_3$	$KCl + CaCl_2$	I	I/II*	II	*Bes. die Spitzenblätter rot
34	K_2SO_4	$K_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4$	I	I*	II	*Bl. mit diffuser Chlorose, z. T. rot überlaufen

Tabelle 3. Holländische

Blattprobe vom	Strauch-Nr. und Erkrankungsgrad	Düngung bis 1937	Düngung 1938	Trockengewicht von 100 Blatt	
				noch ziemlich gesund g	blattrandkrank g
20. Juli	27 II	$(NH_4)_2SO_4$	2 KCl	15,2	9,8
11. Juli	13 III	Na_2SO_4	K_2SO_4+NaCl	24,8	15,4
21. Juli	29 III	Ungedüngt	$K_2SO_4+MgCl_2$	18,4	13,5
11. Juli	22 III	$NaNO_3$	KCl+NaCl	21,0	16,9
11. Juli	19 II	K_2SO_4	KCl+NaCl	17,7	12,9
2. Aug.	4 II	KNO_3	K_2SO_4+KCl	—	14,7
2. Aug.	19 III	K_2SO_4	KCl+NaCl	—	10,0
9. Sept.	8 II	K_2SO_4	K_2SO_4	21,5	18,8
9. Sept.	4 III	KNO_3	K_2SO_4+KCl	14,8	17,9
9. Sept.	5 II	KCl	KNO_3+KCl	29,7	23,8
9. Sept.	26 I	$K_2SO_4+(NH_4)_2SO_4$	$KCl+NH_4Cl$	17,2	—

Große Kirsch-

21. Juli	6 III	Ungedüngt	K_2SO_4+KCl	15,9	20,6
21. Juli	7 II/III	Ungedüngt	K_2SO_4+NaCl	26,1	18,6
23. Juli	15 II/III	Ungedüngt	$K_2SO_4+CaCl_2$	24,8	20,3
23. Juli	14 III	Ungedüngt	$K_2SO_4+MgCl_2$	20,2	16,6
21. Juli	9 II/III	NH_4Cl	$K_2SO_4+NH_4Cl$	24,4	19,0
23. Juli	16 II/III	NH_4Cl	2 NH_4Cl	24,3	21,7
2. Aug.	32 IV	Ungedüngt	Ungedüngt	—	16,1
2. Aug.	12 I*)	K_2SO_4	K_2SO_4	19,0	—
2. Aug.	3 II	Ungedüngt	K_2SO_4	—	19,8
2. Aug.	34 I*)	K_2SO_4	$K_2SO_4+(NH_4)_2SO_4$	—	—
2. Aug.	17 II**)	2 KCl	2 KCl	—	21,6
2. Aug.	33 I/II	$KCl+NH_4NO_3$	$KCl+CaCl_2$	—	—
2. Aug.	24 I/II	$KCl+NH_4NO_3$	$KCl+MgCl_2$	—	22,9
2. Aug.	20 I/II	$KCl+NH_4Cl$	$KCl+NH_4Cl$	—	22,7
2. Aug.	11 II	Ungedüngt	1 NH_4Cl	—	21,9
9. Sept.	3 III	Ungedüngt	K_2SO_4	25,3	—
9. Sept.	10 II	1 KCl	$KCl+KNO_3$	23,8	—

*) Diffus chlorotische, rot überlaufene, aber nicht blattrandkranke Blätter.
**) Gelbgrüne Blätter z. T. randdürr.

lieferte hinsichtlich der Reihung der Kationen nach abnehmender Schädlichkeit eine bessere Anlehnung an den genannten Gefäßversuch:

Strauch Nr. 22 19 18 26

$$Na > Ca > Mg, NH_4.$$

Ob die beobachteten Blattranderkrankungen K-Mangel- oder Chloridschäden sind oder beiderlei Ursachen haben, konnte durch den Augenschein nicht entschieden werden. Eine für Cl-Schäden sprechende, mehr diffuse Blattrandchlorose wurde teilweise an den Blättern der Sträucher Holl. Jb., Nr. 19 ($KCl + CaCl_2$), Nr. 22 ($KCl + NaCl$) und in schwächerem Maße auch bei Nr. 29 ($K_2SO_4 + MgCl_2$) vermerkt.

Bei der Kirsch-Johannisbeere trat, wie auch schon früher

rote Johannisbeere 1938.

In 100 g Blatt-Trockengewicht				Äquivalent-Verhältnis K : Cl	
noch ziemlich gesund g K	blattrandkrank g K	noch ziemlich gesund g Cl	blattrandkrank g Cl	noch ziemlich gesund	blattrandkrank
0,623	0,331	0,522	1,269	1,06	0,24
0,611	0,550	0,998	1,446	0,55	0,35
0,596	1,270	0,810	2,052	0,66	0,56
0,713	1,150	1,197	2,392	0,54	0,44
0,684	0,699	0,777	1,384	0,80	0,46
—	1,396	—	1,609	—	0,79
—	0,832	—	1,842	—	0,41
0,762	0,265	0,332	0,215	2,08	1,12
1,862	0,413	1,074	1,013	1,57	0,37
2,117	2,063	1,760	1,891	1,09	0,99
0,271	—	0,416	—	0,55	—

Johannisbeere 1938

1,071	0,391	1,230	1,670	0,79	0,21
0,285	0,106	0,551	0,671	0,47	0,14
0,338	0,212	0,444	0,503	0,69	0,38
0,340	0,243	0,901	0,563	0,34	0,39
0,481	0,111	0,821	0,826	0,53	0,12
0,479	0,359	0,987	1,006	0,44	0,32
—	0,259	—	0,241	—	0,97
0,678	—	0,247	—	2,12	—
—	0,146	—	0,370	—	0,36
0,865	—	0,181	—	4,33	—
—	1,118	—	1,179	—	0,86
—	0,846	—	1,018	—	0,75
—	0,706	—	1,029	—	0,62
—	0,514	—	0,783	—	0,60
—	0,517	—	1,820	—	0,26
0,377	—	0,371	—	0,92	—
1,717	—	1,377	—	1,13	—

immer wieder beobachtet werden konnte, die Blattrandkrankheit im allgemeinen nicht so kraß wie bei der Holländischen roten Johannisbeere auf. Die Nährstoffversorgung der Sträucher in den vorangegangenen Jahren beeinflußte auch hier das 1938 auftretende Krankheitsbild in hohem Maße. Die 1938 im Verhältnis 2 K zu 1 Cl verabreichte Düngung (K_2SO_4 bzw. KNO_3 + KCl) führte bei dem zuvor mit KCl gedüngten Strauch Nr. 10 zu einer weit schwächeren Erkrankung als bei dem bis dahin ohne Düngung belassenen Strauch Nr. 6. Die Beidüngung verschiedener Chloride zu K_2SO_4 (1 K : 1 Cl) ließ die Blattrandkrankheit in ungefähr gleicher Stärke bei den vorher nicht gedüngten Sträuchern Nr. 7 (+ NaCl), Nr. 14 (+ $MgCl_2$) und Nr. 15 (+ $CaCl_2$) sich entwickeln, hingegen führte die Beidüngung von Chloriden zu KCl, so daß auf 1 K 2 Cl entfielen, nicht wie zu erwarten gewesen wäre, zu einer Verschärfung der Symptome, vielmehr zeigten die

Sträucher Nr. 20 (+ NH_4Cl), Nr. 23 (+ NaCl), Nr. 24 (+ $MgCl_2$) und Nr. 33 (+ $CaCl_2$) nur einen schwachen Grad der Erkrankung, ungefähr wie der mit 2 KCl gedüngte Strauch Nr. 17, offenbar deshalb, weil allen diesen Sträuchern aus der KCl-Düngung in den vorangegangenen Jahren noch eine gewisse Kaliumreserve im Boden zur Verfügung stand. Dieses Verhalten deutet wohl auch darauf hin, daß an den 1938 aufgetretenen Blattranderkrankungen die unzureichende Versorgung mit K vordringlich beteiligt war.

Für die chemische Untersuchung wurden zu verschiedenen Zeitpunkten von den erkrankenden und erkrankten Sträuchern 50 bis 100 Blätter abgenommen, entstielt, bei 80° getrocknet und gewogen. Von der feingemahlenen Probe dienten etwa 1—2 g nach Bestimmung der Trockensubstanz zur Untersuchung auf K bzw. Cl. Die Teilproben wurden in Quarzschalen im Muffelofen verascht, die zur Cl-Bestimmung dienenden nach Zusatz von K_2CO_3. Die Cl-Bestimmung erfolgte nach Volhard (5), die K-Bestimmung kolorimetrisch nach Tischer (6). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bringt Tabelle 3. Die Angaben sind nach dem Datum der Probenahme und innerhalb dieses nach dem Verhältnis K : Cl in der Düngung 1938 geordnet, die der Übersichtlichkeit wegen mit der vorgängigen Düngung wiederholt wird. Neben der Strauchnummer ist der zur Zeit der Probenahme herrschende Erkrankungsgrad vermerkt.



Abb. 1.

Von allen geprüften Sträuchern wurden blattrandkranke Blätter untersucht, bei vielen auch gleichzeitig genommene Proben von Blättern, die als „noch ziemlich gesund“ bezeichnet wurden. Eine ausgesprochene Blattrandchlorose war bei diesen noch nicht zu bemerken, bis auf einzelne vertrocknete Blattspitzen, doch befanden sie sich vielfach schon in einem Zustand latenter Erkrankung; ihre Ränder waren zwar noch grün wie die übrige Blattfläche, enthielten jedoch zum Unterschied von völlig gesunden Blättern keine Stärke. Abbildung 1 zeigt derartige, am späten Nachmittag eines sonnigen Tages abgenommene Blätter mit stärkefreien Rändern nach Vornahme der Sachsschen Jodprobe.

Wie die in Tabelle 3 angeführten Trockengewichte von je 100 Blättern erkennen lassen, wiegen die randchlorotischen oder randdürren Blätter mit nur 2 Ausnahmen weniger als die noch ziemlich gesunden. Es darf dies wohl als ein Zeichen dafür gewertet werden, daß die Blattrandkrankheit die Massenzunahme und damit auch die Größe der Blattflächen herabsetzt, worauf schon früher (1, S. 210) hingewiesen wurde.

Die ermittelten K-Gehaltszahlen gehen nur in verhältnismäßig wenigen Proben über den in der ersten Mitteilung (1) als kritisch erkannten Wert von 1,0 % K in der Blatt-Trockensubstanz hinaus, meistens liegen die K-Gehalte beträchtlich unter diesem Wert, auch bei den als noch ziemlich gesund bezeichneten Proben. Die niedrigen K-Gehalte würden schon an sich genügen, das Auftreten der Blattrandkrankheit als Folge der K-Armut zu verstehen, zugleich bestätigen sie die schon oben geäußerte Vermutung, daß die aus früheren Jahren übernommene Kalidüngungsstärke im Jahre 1938 nicht mehr ausgereicht hat, den Kalibedarf der z. T. ansehnlich gewachsenen Sträucher in jedem Fall zu decken. Bis auf wenige Ausnahmen (Holl. Jb.-Strauch Nr. 29, 22, 19) liegt der K-Gehalt erwartungsgemäß in den blattrandkranken Proben tiefer als in den noch ziemlich gesunden Blättern, wiederum ein Hinweis darauf, daß der niedrige K-Spiegel an vielen der beobachteten Blattranderkrankungen wesentlich beteiligt ist. Im allgemeinen kann man die Beobachtung machen, daß eine Verdoppelung der K-Zufuhr durch die Düngung 1938 gegenüber der einfachen Gabe den K-Gehalt der gesünderen Blattprobe merklich gehoben hat: Holl. Jb.-Strauch Nr. 4 und 5 — eine Ausnahme bildet der mit 2 KCl gedüngte Strauch Nr. 27 —, Kirsch-Jb.-Strauch Nr. 6 und 10; auch der mit 2 KCl bedachte Strauch Nr. 17 enthält sogar in der blattrandkranken Probe über 1 % K. Bei der Holl. Jb. lassen die vom Strauch Nr. 19 am 11. Juli und 2. August abgenommenen blattrandkranken Proben vermuten, daß in der Zwischenzeit noch eine gewisse K-Einwanderung stattgefunden hat, ohne allerdings den kritischen K-Wert zu überschreiten. Umgekehrt könnte der Abfall des K-Gehaltes vom 2. August zum 9. September in den von Strauch Nr. 4 abgenommenen Blättern bereits im Sinne der herbstlichen K-Rückwanderung, die bei manchen Holzgewächsen schon Ende August einsetzt, gedeutet werden.

Was nun die Chlorgehalte der Johannisbeerblätter anbelangt, so zeigt der Vergleich mit den chlorfrei gedüngten Sträuchern, daß das mit der Düngung verabfolgte Chlor in hohem Maße in die Blätter eindringt, meist stärker sogar als das Kalium. Bei der Holländischen roten Johannisbeere Strauch Nr. 22 führte die verdoppelte Cl-Gabe in der Düngung 1938 zu der erwarteten hohen Cl-Anreicherung in beiden Blattproben, beim Strauch Nr. 19 hatte sie keinen solchen Anstieg des Cl-Gehaltes zur Folge; da sich die beiden Sträucher nur in der vorangegangenen Düngung unterscheiden, $NaNO_3$ bei Strauch 22 und

K_2SO_4 bei Strauch 19, könnte in letzterem Falle das im Boden angereicherte SO_4'' einer stärkeren Cl-Aufnahme entgegengewirkt haben. Dafür spricht auch das Verhalten der mit der doppelten Cl-Menge gedüngten Sträucher Nr. 27 und 26, die, in einem mit Sulfat angereicherten Boden stehend, auf die Verdoppelung der Cl-Gabe nicht mit einer entsprechend hohen Cl-Speicherung geantwortet haben. Es ist durchaus vorstellbar, daß das dehydratisierend wirkende Sulfat-Ion der Aufnahme des Cl' entgegenwirkt, womit die wiederholt betonte günstige Wirkung einer K_2SO_4-Düngung auf die Johannisbeere eine teilweise Erklärung finden könnte. Auch bei einigen Sträuchern der Kirsch-Johannisbeere (Nr. 17, 24, 33, 16 und 20) hatte die verdoppelte Cl-Zufuhr hohe, wenn auch nicht die höchsten Cl-Gehalte zur Folge. Relativ das meiste Cl nahmen die Blätter des Strauches Nr. 11 aus dem 1938 zum erstenmal dargebotenen NH_4Cl auf, während die doppelte NH_4Cl-Gabe bei dem seit 1935 mit diesem Salz gedüngten Strauch Nr. 16 keine so hohe Cl-Anreicherung in den Blättern herbeigeführt hat. Obgleich die an Freilandsträuchern durchgeführten Düngungsversuche keine exakte Unterlage für die Beantwortung der Frage abgeben können, wie die das Cl begleitenden Kationen die Cl-Aufnahme bzw. -Speicherung in den Blättern beeinflussen, so ist doch die Beobachtung von einigem Interesse, daß bei den untereinander vergleichbaren Kirsch-Johannisbeersträuchern Nr. 6, 7, 15 und 14 (vor 1938 ohne Düngung, 1938 Beidüngung von Chloriden zu K_2SO_4, Blattproben zum gleichen Zeitpunkte abgenommen) der Cl-Gehalt ihrer Blätter in folgender Reihenfolge abnimmt:

in den noch ziemlich gesunden Blättern $K > Mg/2 > Na > Ca/2$
in den blattrandkranken Blättern $K \gg Na > Mg/2 \gtrsim Ca/2$.

Die Kationen der zugeführten Chloride scheinen also die Cl-Anreicherung in den Blättern im Sinne der in der Kolloidchemie und Biologie oft beobachteten Kationenreihe zu beeinflussen. Demnach wäre besonders das K der Cl-Aufnahme förderlich. In der Tat ist öfter zu beobachten, daß K-reiche Blätter auch viel Cl führen (Holl. Jb.-Strauch Nr. 29, 22, 4 und 5, Kirsch-Jb.-Strauch Nr. 6, 17 und 10). An Wasserkulturen konnte Löhnis (7) allerdings keine Abhängigkeit der Cl-Aufnahme von der Art des Kations (K, Na, Ca) wahrnehmen. Für das Eindringen des Cl aus verschiedenen Chloriden in Scheiben der Stoppelrübenwurzel (Brassica campestris rapifera) gibt Homès (8) folgende Reihung mit fallender Cl-Aufnahme an: $K = Na > Ca > Mg > NH_4$, in der das am stärksten entquellend wirkende Ca sonderbarerweise eine Mittelstellung einnimmt. Doch lassen sich mit derartigen Versuchen unsere an Freilandsträuchern gemachten Feststellungen kaum in Vergleich setzen.

Während der K-Gehalt in ausgesprochen randerkrankten Blättern in der Regel geringer ist als in den noch ziemlich gesunden Blättern, verhält sich ihr Cl-Gehalt mit nur wenigen Aus-

nahmen gerade umgekehrt. Dieses Verhalten des Cl muß natürlich nach dem eingangs gesagten die Blattranderkrankungen verschärfen. Wir kommen damit zur Besprechung des K/Cl-Verhältnisses, das in den letzten 2 Säulen der Tabelle 3 aus den Milliäquivalenten K und Cl berechnet wurde. Das gegensinnige Verhalten des K und Cl in den beiden Blattproben führt dazu, daß das K/Cl-Verhältnis in den randkranken Blättern fast durchwegs (mit einer einzigen Ausnahme) tiefer, meist bedeutend tiefer liegt als in den noch ziemlich gesunden. Dieses Verhältnis schwankt bei

Verhältnis schwankt bei	Holl. r. Jb.	Kirsch-Jb.
in noch ziemlich gesunden Proben	0,54—2,08	0,34—4,33
in den blattrandkranken Proben	0,24—1,12	0,12—0,97.

In der ersten Mitteilung (1, S. 220) und eingangs dieser Arbeit wurde auf die Bedeutung dieses Verhältnisses für den Gesundheitszustand der Johannisbeerblätter hingewiesen. Auch an dem nun vorliegenden größeren Zahlenmaterial bestätigt sich, daß das K/Cl-Verhältnis in blattrandkranken Blättern stets unter 1 liegt. Die einzige Ausnahme bildet die am 9. September von dem dauernd mit K_2SO_4 gedüngten Strauch Holl. Jb. Nr. 8 abgenommene blattrandkranke Probe, doch weisen gerade diese Blätter unter allen Proben den niedrigsten K-Gehalt auf, so daß die Blattrandkrankheit allein schon diesem Umstande trotz des 1 übersteigenden K/Cl-Verhältnisses zugeschrieben werden kann. Tritt zu der in nicht wenigen Fällen festgestellten K-Armut der Blätter auch noch ein höherer Cl-Gehalt und damit ein unter 1 liegendes K/Cl-Verhältnis hinzu, so wird dieser Umstand zu einer Verschärfung der Randerkrankung der Blätter beitragen. Aber auch in den noch ziemlich gesunden Blattproben zeigt sich in vielen Fällen eine bedenkliche Unterschreitung des kritischen K-Gehaltes und wenn sich noch dazu ein unter 1 liegendes K/Cl-Verhältnis gesellt, so sind dies bedrohliche Anzeichen dafür, daß die noch mehr oder weniger latente Erkrankung alsbald zu einem heftigen Ausbruch der Krankheit führen wird. In der Tat ließ sich an derartigen Sträuchern ein rasches Fortschreiten der Blattranderkrankung verfolgen:

	Strauch-Nr.	K-Gehalt g	K/Cl-Verhältnis	Probenahme	Erkrankungsgrad z. Z. der Probenahme	Erkrankungsgrad 30. Juli	Erkrankungsgrad 2. Sept.
Holländische rote Johannisbeere	22	0,713	0,54	11. Juli	III	V	V
	13	0,611	0,55	11. Juli	III	III—IV	V
	29	0,596	0,66	21. Juli	III	III	IV
	19	9,684	0,80	11. Juli	II	III	IV
Kirsch-Johannisbeere	14	0,340	0,34	23. Juli	III	III—IV	IV
	7	0,285	0,47	21. Juli	II—III	III	IV
	9	0,481	0,53	21. Juli	II—III	III—IV	IV
	15	0,338	0,69	23. Juli	II—III	III	III—IV

Tabelle 4.

Sorte und Strauch-Nr.	Düngung 1938	Blattproben		Millival in	
		vom	Zustand	K	Cl
Holl. 4	K_2SO_4+KCl	9. Sept.	noch gesund	47,6	30,3
			randkrank	35,7	45,4
Holl. 5	KNO_3+KCl	9. Sept.	noch gesund	54,2	49,6
			randkrank	52,8	53,3
Holl. 8	K_2SO_4	9. Sept.	noch gesund	19,5	9,4
Holl. 22	$KCl+NaCl$	11. Juli	randkrank	29,4	67,5
Holl. 29	$K_2SO_4+MgCl_2$	21. Juli	randkrank	32,5	57,9
Kirsch. 10	KNO_3+KCl	9. Sept.	noch gesund	43,9	38,8
Kirsch. 12	K_2SO_4	2. Aug.	diffus chlorotisch	14,8	7,0
Kirsch. 17	2 KCl	2. Aug.	gelbgrün, z. T. randdürr	28,6	33,3

Eine trotz niedrigen K-Gehaltes und K/Cl-Verhältnisses nur langsame Zunahme der Blattrandkrankheit zeigte Strauch Nr. 16 der Kirsch-Jb. Mutmaßlich hat hier die bessere Stickstoffversorgung durch die vorangegangene Düngung und die Beidüngung von NH_4Cl den Krankheitsverlauf abgeschwächt (1, S. 183 u. 201).

Merkwürdig ist das Verhalten der Kirsch-Jb.-Blätter der Sträucher Nr. 12 und 34, die nur mit Sulfaten gedüngt worden waren. Ihre K-Gehalte liegen zwar unter der kritischen Grenze von 1,0% K in der Trockensubstanz, ihre Cl-Gehalte aber sind entsprechend der Cl-freien Düngung derart niedrig, daß das K/Cl-Verhältnis relativ sehr hoch ausfällt. Eine Blattranderkrankung war hier nicht zu beobachten, doch waren die Blätter über die ganze Fläche diffus chlorotisch, z. T. rot überlaufen. Es ist möglich, daß an diesem Verhalten die starke SO_4-Zufuhr beteiligt ist, doch reagierte der gleichfalls anhaltend mit K_2SO_4 gedüngte Strauch Nr. 8 der Holl. Jb., dessen Blätter auch ein hohes K/Cl-Verhältnis aufweisen, nicht mit dieser abnormen Blattverfärbung.

Besondere Bedeutung gewinnt jedoch das K/Cl-Verhältnis für relativ K-reiche Johannisbeerblätter, deren K-Gehalt 1% der Trockensubstanz übersteigt und an sich also ausreichen würde, um das Auftreten der Blattrandchlorose zu verhüten. Solche Blätter enthielten die am 9. September abgenommenen, noch ziemlich gesunden Proben der Sträucher Nr. 4 und 5 der Holl. Jb. und der Sträucher Nr. 6 und 10 der Kirsch-Jb. Unter den schon ausgesprochen randkranken Blättern waren es die Proben von den Sträuchern der Holl. Jb. Nr. 29, 22, 4 (2. August) und 5, von den Sträuchern der Kirsch-Jb. Nr. 17. Bei den schon deutlich erkrankten Blättern war das K/Cl-Verhältnis durchwegs < 1. Bei den noch ziemlich gesunden Blättern lag es nur bei Strauch Nr. 6, der auch nach seinem nur knapp über 1% liegenden K-Gehalt als schon gefährdet gelten kann, unter 1, die übrigen Blattproben (Nr. 4, 5 und 10) hatten bei hohem K-Gehalt zugleich ein über 1

100 g Blatttrockensubstanz			g Ca in 100 g Blatttrockensubstanz		Extrahierbares Ca in °/₀ des Gesamt-Ca
Dch. K. nicht gedecktes Cl	Wasserlösliches Ca	NaCl-lösliches Ca	im Rückstand	insgesamt	
—	1,85	14,0	1,739	2,057	15,5
9,7	9,14	17,2	2,134	2,662	19,9
—	2,30	21,3	1,292	1,764	26,8
0,5	14,12	27,3	1,232	2,062	40,3
—	5,40	21,3	2,164	2,699	19,8
38,1	15,20	19,2	1,480	2,168	31,7
25,4	16,30	18,1	1,150	1,838	32,0
—	4,60	17,3	0,811	1,250	35,2
—	11,60	18,4	1,882	2,483	24,3
4,7	14,90	17,4	2,466	3,114	20,8

liegendes K/Cl-Verhältnis, können also auf Grund der Analyse als die gesündesten bezeichnet werden.

Für die eingangs aufgeworfene Frage, ob die in K-reiche Blätter einwandernden Cl-Ionen in verstärktem Maße Ca-Ionen heranführen, die das K von seinen plasmatischen Wirkungsflächen abdrängen könnten, wurden von den eben genannten Sträuchern noch gesunde und schon blattrandkranke Blattproben auf ihren Gehalt an Kalzium verschiedener Löslichkeit untersucht.

Nach dem Vorgang von Kostytschew und Berg (9) wurde die fein gepulverte Blattprobe zunächst mit der 100-fachen Menge Wasser bei Zimmertemperatur über Nacht extrahiert und anschließend in gleicher Weise mit 10°/₀iger NaCl-Lösung ausgelaugt. In beiden Extrakten wurde das Kalzium in der Siedehitze als Oxalat gefällt, das abfiltrierte und mit Ammoniakwasser gewaschene Kalziumoxalat wurde in verdünnter heißer Schwefelsäure gelöst und die heiße Lösung mit n/10 $KMnO_4$ bis zur bleibenden Rosafärbung titriert. Um das im Rückstand nach der zweimaligen Auslaugung noch verbliebene Kalzium zu erfassen, wurde er in Quarzschalen verascht und das Kalzium nach Abscheidung der Kieselsäure und Ausfällung des Fe, Al und P_2O_5 als Oxalat gefällt (10).

Dieses Vorgehen gestattet die angenäherte Trennung des wasserlöslichen, des mit NaCl verdrängbaren sorbierten und des in unlöslicher Form (zumeist als Kalziumoxalat) in den Blättern enthaltenen Kalziums. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefaßt, die Gehaltsangaben erfolgen zumeist in Milliäquivalenten.

Das hervorstechendste Ergebnis ist, daß der Gehalt an wasserlöslichem Ca in allen blattrandkranken Proben bedeutend höher ist als in den noch gesunden. Da die blattrandkranken Proben durchwegs auch einen durch K nicht gedeckten Cl-Überschuß aufweisen, kann dies auch so ausgedrückt werden, daß die kranken Blätter zum Unterschied von den gesunden $CaCl_2$ enthalten, allerdings in sehr verschiedener Menge. Angenäherte Äquivalenz zwischen Ca und Cl herrscht in den randkranken Blättern des Strauches Nr. 4; überschüssige Ca-Äqui-

Tabelle 5.

Gruppe	Differenzdüngung je Gefäß	Anfangs-pH H_2O	Holl. rote Johannisbeere, Anfang Sept. End-pH	Blattzustand	Durchschn. Trieb- Zahl	Länge cm
1	Ohne Kalk	4,88	4,72	I	9,5	48,5
2	30 g $CaCO_3$	6,84	5,60	I	12	69
3	70 g $CaCO_3$	7,42	6,82	I	6,5	62
4	200 g $CaCO_3$	7,62	7,74	I	6,5	45
5	200 g $CaCO_3$ + 20 g Löschkalk*	7,90	7,86	I	4,5	27,5
6	2,483 g NaCl	4,78	4,68	II	7	52,5
7	4,966 g NaCl	4,77	4,82	IV	4	42
8	7,449 g NaCl	4,71	4,26	IV—V	9	48,5
9	9,993 g NaCl	4,63	4,08	V	2	22

* mit 65 % CaO

valente weisen die kranken Blätter des Strauches Nr. 5 auf, im Hinblick auf seine Düngung mit KNO_3 könnten sie durch unverbrauchte NO_3-Ionen abgesättigt sein. Entgegengesetzte Verhältnisse bestehen in den randkranken Blättern der Sträucher Nr. 22 und 29; hier dürften die weder durch K noch durch Ca gebundenen Cl-Ionen an aus der Düngung aufgenommene Na- bzw. Mg-Ionen gebunden sein.

Eine Sonderstellung nehmen die auch durch ihre abweichende Färbung auffälligen Blätter der Kirsch-Jb. Nr. 12 und 17 ein, die darob in den Rahmen dieser Untersuchung aufgenommen wurden. Die Blätter beider Sträucher führen relativ ansehnliche Mengen wasserlöslichen Ca; in den Cl-armen Blättern des Strauches Nr. 12 könnten allenfalls noch aus der wiederholten K_2SO_4-Düngung stammende SO_4-Ionen als Träger des Basenüberschusses angenommen werden, bei Strauch Nr. 17 aber versagt diese Erklärung, für die Absättigung der überschüssigen Basen kommen hier wohl nur organische Säuren in Frage. Vielleicht ist aber der Basenüberschuß die Ursache für die diffus chlorotische bzw. gelbgrüne Färbung dieser Blätter, wobei allerdings auch die Sorteneigentümlichkeit mithereinspielt, da wie schon erwähnt, bei der Holl. Jb. im Gefolge einer dauernden K_2SO_4-Zufuhr keine so abweichende Blattverfärbung beobachtet werden konnte.

Bei dem mit NaCl aus der Blattsubstanz verdrängbaren Ca sind die Unterschiede zwischen gesunden und kranken Blättern nicht so kraß, wenngleich sie bei den Sträuchern Nr. 4 und 5 in der gleichen Richtung wie bei der wasserlöslichen Ca-Fraktion liegen. Das Gleiche gilt von dem Gesamt-Ca in den Blättern dieser Sträucher.

Wesentlich aber erscheint die Feststellung, daß in trotz K-Reichtum randerkrankten Johannisbeerblättern dem durch K nicht gedeckten Cl-Überschuß Ca-Ionen in

Ribes nigrum, Anfang Sept.				Ribes alpinum, Anfang Sept.			
End-pH	Blattzustand	Durchschn. Trieb- Zahl	Länge cm	End-pH	Blattzustand	Durchschn. Trieb- Zahl	Länge cm
4,88	I	9	96	—	—	—	—*
5,70	I	6	110	5,86	I	9	78
6,57	I	7	100	7,20	I	5	68
7,60	I	6	111	7,61	I	5	43
7,86	I	8	92	7,56	I	5	38
5,09	I	8	98	4,41	III	5	77
5,09	I	8	55*	4,24	III	4	48
4,44	I	6	103	—	—	—	—
4,46	I	6	80	4,50	V	7	59

* am 5. Mai nachgepflanzt. * eingegangen.

ansehnlich größeren Mengen gegenüberstehen als in noch gesunden, in denen das Cl durch K mehr als aufgewogen wird (K/Cl > 1). Dieses Ergebnis fügt sich sehr gut in die Vorstellung ein, daß das im Überschuß in die Johannisbeerblätter einströmende Cl Kationen heranbringt, die das an den plasmatischen Grenzflächen wirkende K verdrängen und so unwirksam machen könnten. Wenngleich an diesem Basenumtausch auch andere Kationen als Ca beteiligt sein können, so weisen die hier mitgeteilten Ergebnisse doch auf die überragende Stellung dieses kolloidaktivsten Kations hin. Damit aber wird die chlorempfindliche Johannisbeere ein weiteres Beispiel für die von Sokolow u. a. (4) allgemein gefaßte Anschauung, daß chlorophobe Pflanzen zugleich kalziophob sind. Gerade die Johannisbeere und ganz besonders die Holländische rote, ist eine in überaus scharfer Weise auf K-Mangel und Cl-Überschuß mit charakteristischen Symptomen ansprechende Pflanze, die sich darob zum Studium derartiger Zusammenhänge, wie sie auch bei manchen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen vorliegen dürften, ganz besonders eignet. Vielleicht hängt dieses empfindliche Reaktionsvermögen der Johannisbeerblätter mit dem Umstand zusammen, daß sie im Vergleich zu anderen Pflanzen auffallend K-arm sind. Die Blattrandkrankheit der Johannisbeere ist durchaus keine seltene Erscheinung, jedenfalls häufiger als die chlorotisch-nekrotischer K-Mangelschäden an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Da das K, Cl und das wasserlösliche Ca in dem Reaktionsmedium der Blattzellen in ionisiertem Zustande vorhanden sind, ist auch von diesem Gesichtspunkte aus ein Gegeneinanderwirken von K- und Ca-Ionen verständlich, für das die Cl-Ionen die Voraussetzung dadurch schaffen, daß sie vor allem Ca-Ionen heranführen. Auf dieser Grundlage erscheinen mithin die im Gefolge einer Chloriddüngung sich einstellenden

Schädigungen K-reicher Johannisbeerblätter als eine Äußerung des im biologischen Geschehen schon so oft sichergestellten Kalium-Kalzium-Antagonismus.

Um den Zusammenhang zwischen Chlor- und Kalkempfindlichkeit an der Johannisbeere unmittelbar zu prüfen, wurde 1938 noch ein Gefäßversuch angesetzt, der die Wirkung steigender NaCl-Zusätze und steigender Kalkgaben zum Boden auf die Holländische rote Johannisbeere, auf Ribes nigrum und auf Ribes alpinum zeigen sollte, um das Verhalten dieser Ribesarten gegen Chlorid und Kalk unter denselben Versuchsbedingungen vergleichen zu können.

Die Holländischen roten Johannisbeeren wurden nach starkem Zurückschneiden geeigneten Gefäßen des Versuches 1937 (1, S. 203) entnommen und standen somit im 4. Jahr. Die Ribes alpinum-Pflanzen entstammten einer mehrjährigen, im Wachstum allerdings sehr zurückgebliebenen Hecke, an der alljährlich eine für K-Mangel typische Blattranddürre auftrat. Von der schwarzen Johannisbeere, die für K-Mangel bekanntlich nicht so empfindlich ist wie die rote, standen sehr gleichmäßige Jungpflanzen der Sorte „Riese von Boskoop“ aus einer Baumschule zur Verfügung.

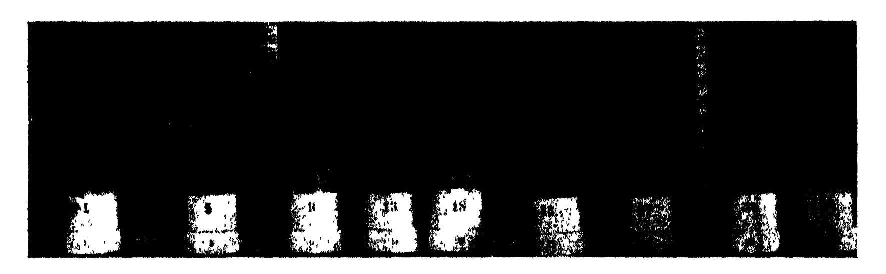
In jeder Versuchsgruppe hielten die Holländische rote Johannisbeere zwei Gefäße, die anderen beiden Ribesarten je ein Gefäß besetzt. Die Versuchsgefäße wurden mit je 12,9 kg wasserfreiem Boden gefüllt. Der Versuchsboden war ein nährstoffarmer, saurer Lehmboden (pH-Wasser 4,9), dem die aus der Tabelle 5 ersichtlichen Kalk- und NaCl-Mengen neben einer für alle Gefäße gleichen Grunddüngung (2 g N als NH_4NO_3, 1 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2$ und 2 g K_2O als K_2SO_4) zugesetzt wurden. In der NaCl-Reihe erhielten die Gefäße keinen Kalkzusatz. Nach dem Bepflanzen am 17. März 1938 wurden die Gefäße mit destilliertem Wasser auf 60% der Wasserkapazität gebracht und dauernd so gehalten.

Die Angaben über die Änderung des pH-Wertes in den einzelnen Gruppen und über den Zustand der drei Ribesarten gegen Versuchsende bringt Tabelle 5. Die römischen Ziffern bedeuten den Krankheitsgrad wie in Tabelle 2. Die Abb. 2 und 3 geben eine Vorstellung von dem Aussehen und vor allem von den Höhenunterschieden der roten und schwarzen Johannisbeere Ende September. Nachfolgend werden die Beobachtungen während des Wachstums mitgeteilt.

Holländische rote Johannisbeere. Schon am 5. Mai blieben die Pflanzen in den am stärksten gekalkten Gruppen 4 und 5 im Wachstum zurück, desgleichen in Gruppe 9 mit der höchsten NaCl-Gabe, und die Cl-Schäden wurden offenkundig. Bei der niedrigsten NaCl-Gabe in Gruppe 6 waren sie am schwächsten, die Blätter wiesen hier heller grüne Ränder auf. In den stärker gesalzenen Böden der Gruppen 7, 8 und 9 traten die Symptome einer schweren Cl-Schädigung auf: Die Blätter besaßen breite gelbe Ränder, und eine diffuse Chlorose erstreckte sich fast über das ganze Blatt, nur die Hauptnerven waren noch grün. Zwischen ihnen traten in einer gewissen Entfernung vom Blattrand rötlichbraune nekrotische Herde auf, die in dem übrigen noch wachsenden Blattgewebe Einsenkungen hervorriefen und mutmaßlich auch die Abwärtswölbung der Randpartien der jungen Blätter verschuldeten. Am 18. Mai waren die Höhenunterschiede infolge des weiteren Zurückbleibens der Pflanzen in den Gefäßen mit den hohen Kalk- und Kochsalzgaben bereits sehr auffällig. In Gruppe 6 waren die Cl-Beschädigungen

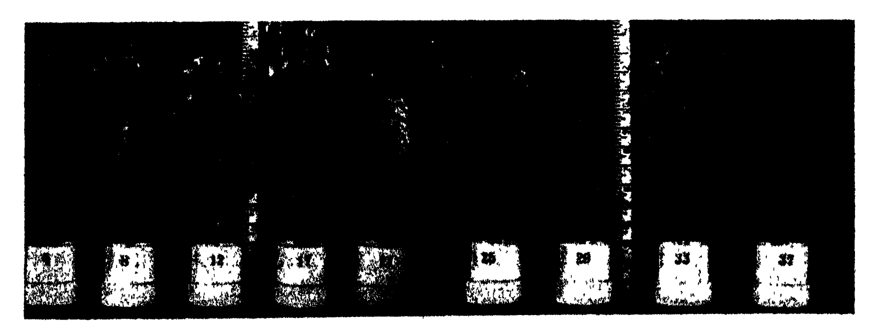
gering, in 7 und 8 auf die nun älteren Blätter beschränkt, in Gruppe 9 kümmerten die Pflanzen und hatten durchwegs diffus chlorotische Blätter. Mitte Juni prägten sich die Blattranderkrankungen in der NaCl-Reihe wie folgt aus: In Gruppe 6 und 7 besaßen vorwiegend die älteren Blätter schmale vertrocknete Ränder, die jüngeren machten einen gesunden Eindruck, die Pflanzen waren ziemlich hoch gewachsen. In Gruppe 8 und 9 waren die meisten Blätter geschädigt, außer vordorrten Rändern waren ganze Sektoren der Blattflächen unter rotbrauner Verfärbung abgestorben. Hingegen blieben die Blätter der Kalkreihe bis in den September hinein gesund, lediglich im Wuchs waren die Pflanzen in den stärker gekalkten Gefäßen der Gruppen 4 und 5 zurückgeblieben. Der Zustand der Blätter anfangs September ist aus Tabelle 5 zu ersehen.

Ribes nigrum. Die Pflanzen trieben sehr gut und gleichmäßig aus. In allen Gefäßen zeigten die jungen Blätter anfänglich eine heller grüne Scheckung, die aber etwa Mitte Mai wieder verschwand. Mitte Juni wiesen die Pflanzen durchwegs einen sehr guten Stand auf, ihre Blätter waren in allen Gefäßen vollständig gesund, kennzeichnende Unterschiede waren nicht erkennbar. 19. Juli hatten alle Pflanzen eine stattliche Höhe erreicht und ließen keinerlei Schäden erkennen. Anfang September waren an allen Pflanzen die unteren Blätter bis höchstens zu einem Drittel der Asthöhe braun vertrocknet, Ende September war das Laub etwas welk, sonst aber noch gesund, Überkalkungs- oder Chlorschäden waren nirgends zu beobachten.



Ohne Kalk | 30 g $CaCO_3$ | 70 g $CaCO_3$ | 200 g $CaCO_3$ | 200 g $CaCO_3$ +40 g Löschkalk | 2,483 g | 4,966 g | 7,449 g | 9,932 g NaCl

Abb. 2. Holländische rote Johannisbeere. 28. Sept.



Ohne Kalk | 30 g $CaCO_3$ | 70 g $CaCO_3$ | 200 g $CaCO_3$ | 200 g $CaCO_3$ +40 g Löschkalk | 2,483 g | 4,966 g | 7,449 g | 9,932 g NaCl

Abb. 3. Schwarze Johannisbeere. 26. Oktober.

Ribes alpinum. Mitte Mai hatten sich die Sträucher vom Überpflanzen noch nicht recht erholt, die neuen Blätter waren klein und in zwei Gefäßen mußten eingegangene Pflanzen ersetzt werden. Mitte Juni zeigte nur die Pflanze in Gruppe 9 diffuse Blattrandchlorose, die übrigen Pflanzen waren gesund. Am 19. Juli hatte die Pflanze der Gruppe 1 nur schwach ausgetrieben und ging später ein, in Gruppe 2 und 3 waren die Pflanzen höher als in Gruppe 4 und 5, alle vier aber gesund; in der NaCl-Reihe hatte nur die höchste NaCl-Gabe Chlorose bewirkt. Anfangs September aber machten sich hier allgemein Blattranderkrankungen bemerkbar, die aus Tabelle 5 zu ersehen sind. In Gruppe 6 und 7 hatten die Blätter scharf abgegrenzte, rostbraun vertrocknete Ränder, in Gruppe 9 waren sie verdorrt. In der Kalkreihe waren die Pflanzen der Gruppe 2 und 3 hochgewachsen, die der Gruppe 4 und 5 niedrig, aber ausgebreitet, doch zeigten die gekalkten Pflanzen keine Blattschäden, nur die Länge ihrer Triebe nahm mit steigender Kalkgabe ab.

Der Gefäßversuch zeigt somit, daß unter den drei geprüften Ribesarten die Holländische rote Johannisbeere am chlorempfindlichsten ist; Chloridschäden waren auch an Ribes alpinum zu beobachten, während Ribes nigrum das Kochsalz ohne Schaden vertrug. Ribes nigrum wurde aber auch durch die höchsten Kalkgaben im Wachstum kaum gehemmt, während die beiden anderen Ribesarten in ihrem Wuchs sehr deutlich zurückgehalten wurden. Chlor- und Kalkempfindlichkeit gehen demnach bei den geprüften Johannisbeerarten parallel. Daß es bei keiner der Versuchspflanzen in den gekalkten Gefäßen zu Blattranderkrankungen gekommen ist, darf nicht wundernehmen, denn die Gefäße waren mit Kali und chlorfrei gedüngt, so daß die Bedingungen für das Auftreten dieser Stoffwechselstörungen nicht gegeben waren. Wahrscheinlich hätte hier eine Cl-Zufuhr Blattranderkrankungen herbeigeführt und andererseits hätte eine Kalkung in der NaCl-Reihe wohl zu einer Verschärfung der Blattrandkrankheit geführt. Diese Fragen wurden zwar nicht geprüft, doch sei auf die schwere Erkrankung des Freilandstrauches Holl. Jb. Nr. 21 (s. S. Tab. 2 und die früher (1) mitgeteilten Erfahrungen dieser Art verwiesen.

Zusammenfassung.

Die im Gefolge einer Chloriddüngung auftretende Blattranderkrankung an sich kaliumreicher Johannisbeerblätter ist chemisch dadurch gekennzeichnet, daß in solchen Blättern den durch K nicht gedeckten, überschüssigen Cl-Ionen Ca-Ionen in ansehnlich größerer Menge gegenüberstehen als in noch gesunden Blättern, in denen das Cl durch K mehr als aufgewogen wird ($K/Cl < 1$). Diese durch Cl bedingte Stoffwechselstörung, die in ihren Symptomen der durch K-Armut hervorgerufenen Blattrandkrankheit ähnelt, beruht also auf einem K-Ca-Antagonismus. In einem Gefäßversuch mit steigenden Kalk- bzw. Kochsalzgaben erwiesen sich die rote Johannisbeere und Ribes alpinum als chlor- und zugleich kalkempfindliche Pflanzen, während die schwarze Johannisbeere hohe Kalk- und NaCl-Gaben ohne Schaden vertrug. Damit ist der von anderer Seite angenommene Zusammenhang von Kalk- und Chlorfeindlichkeit auch für Ribesarten nachgewiesen, die für das Studium solcher Stoffwechselstörungen besonders geeignete Objekte sind.

Schrifttum:

1. Boresch, K.: Über die Blattrandkrankheit der Johannisbeere mit einem Ausblick auf die Entstehung von Mangelchlorosen. Gartenbauwiss., Berlin 1938, **12**, 176–233.
2. Noack, Kurt: Photochemische Wirkungen des Chlorophylls und ihre Bedeutung für die Kohlensäureassimilation. Z. Botanik, Jena 1925, **17**, 481–548.
3. Pirson, A.: Ernährungs- und stoffwechsel-physiologische Untersuchungen an Fontinalis und Chlorella. Ebenda, **31**, 1937, 193–267.
4. Sokolow, A. W., zit. bei Turtschin, Th. W.: Einfluß des Kalis auf den Stickstoff- und Kohlenhydratwechsel in Pflanzen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **35**, 1934, 349.
   Masaewa, M.: Zur Frage der Chlorophobie der Pflanzen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **1**, 1936, 39–56. — Chem. Zbl., Berlin, **110**, II, 1939, 506.
5. Klein, G.: Hdb. d. Pflanzenanalyse, Wien, 1933, II, S. 36/37.
6. Tischer, J.: Eine kolorimetrische Methode zur Bestimmung kleinster Mengen Kalium. Biochem. Z., Berlin, **238**, 1931, 148–161.
   Derselbe: Zur mikrochemischen Bestimmung des Kaliums in Pflanzenaschen. Mikrochemie (1936), Molisch-Festschr., 418–435.
7. Löhnis, M. P.: Ziekteverschijnselen bij Aalbessen veroorzakt door de Minerale Voeding. Tijdschr. Plantenziekt, Wageningen, 1937, **2**, 33–56.
8. Homés, M. V.: La pénétration des chlorures dans les cellules de la racine charnue du navet. Protoplasma, Berlin, **18**, 1933, 161–193, ref. in Ber. wiss. Biol., **25**, 1933, 471.
   Derselbe: Arch. de Biol., **47**, 1936, 399, ref. in Ber. Physiol., **109**, 208.
9. Kostytschew, S., u. V. Berg: Die Form der Kalziumverbindungen in lebenden Pflanzengeweben. Planta, Berlin, **8**, 1929, 55–67.
10. Rippel, A.: Im Hdb. d. Pflanzenanalyse von G. Klein, Wien, **2**, I, 13.

[301]

Die gegenseitigen Beziehungen zwischen einigen Bodeneigenschaften im Lichte einfacher Korrelationsrechnung.

Von **Vladimir Gössl.**

Institut für Boden- und Wetterkunde der böhm. Hochschule für Land- und Forstwirtschaft in Prag, Protektorat Böhmen-Mähren.

Eingegangen: 11. April 1939.

Einleitung.

Der Boden stellt im natürlichen Zustande eine ungleichartige Masse dar, die sich durch zahlreiche Eigenschaften und Merkmale auszeichnet, zwischen denen — zum Teil wenigstens — gewisse gegenseitige Beziehungen angenommen werden. Diese Vermutungen stützen sich meistens auf empirisch gewonnene Erfahrungen oder werden durch Vergleich der Versuchsergebnisse mit rechnerischen oder graphischen Verfahren abgeleitet. Da bisher auf dem Gebiet der Bodenkunde keine speziellen Rechnungsverfahren über Korrelationsbestimmungen bekannt waren, kann der vorgelegte Beitrag als erster Versuch dieser Art angesehen werden. Für andere Zwecke, nämlich zur Bestimmung von Grenzzahlen der Bodenuntersuchungsmethoden, wurde die Korrelationsrechnung bereits von Niklas und Miller angewendet (1).

Die zum Vergleich herangezogenen Bodeneigenschaften und Rechnungsverfahren.

Es ist klar, daß nur solche Bodeneigenschaften, bei denen gewisse ursächliche Zusammenhänge logisch vorauszusetzen sind und deren Werte zahlenmäßig ausgedrückt werden können, zum Vergleich und zur Feststellung von gegenseitigen Beziehungen herangezogen werden können. Aus diesem Grunde wurden zuerst einmal ganz einfache Versuche über Bodeneigenschaften, die diesen Anforderungen entsprechen, durchgeführt. Vor allem handelt es sich hier um die Beziehungen zwischen der Korngrößenzusammensetzung und dem Gesamtporenvolumen (P), der Wasserkapazität (Wo) und dem Gehalt an leichtlöslichem Kali.

Die Beziehungen des Porenvolumens und der Wasserkapazität zur Korngrößenzusammensetzung des Bodens sind schon lange bekannt und wurden schon frühzeitig in der bodenphysikalischen Forschung beachtet und für versuchsmäßig nachgewiesen gehalten. Der von Wollny (2, 3) aus seinen Versuchen gezogene Schluß, daß die „absolute" Wasserkapazität mit der Feinkörnigkeit der Bodenteilchen ansteigt, wurde von anderen Forschern [Soyka, Stahl-Schröder (4, 5)] übereinstimmend bestätigt und wird auch in der heutigen Bodenphysik als berechtigt angesehen. Es fehlte aber nicht an abweichenden Ansichten, die diesen Zusammenhang für nicht so einfach hielten; die Berechtigung dieser Einwendungen wird noch bei der Besprechung eigener Ergebnisse erörtert werden.

Etwas anders lag die Sache bei dem Gesamtporenvolumen. Es wurde anfänglich angenommen, daß logischerweise mit steigendem Gehalt des Bodens an feineren Korngrößengruppen das Porenvolumen sinkt, was mit den Versuchen von Wollny (6) über die Menge des Versickerungswassers in scheinbarem Einklange stand. Die Versuche von Soyka (4) haben aber im Gegensatz dazu klar das Ansteigen des Gesamtporenvolumens mit abnehmender Korngröße gezeigt. Dieser Zusammenhang wurde aber niemals für so eindeutig gehalten wie bei der Wasserkapazität.

Es sei noch bemerkt, daß die älteren Versuche zur Feststellung der Beziehungen zwischen dem mechanischen Aufbau des Bodens und den physikalischen Eigenschaften meistens mit den einzelnen Korngrößengruppen ausgeführt wurden, weniger mit künstlichen Gemischen einzelner Korngrößen und nur selten mit Böden im natürlichen Zustand.

Über die Beziehungen zwischen der Korngrößenzusammensetzung und dem Gehalt an leichtlöslichem Kali herrschte bisher die allgemeine Vermutung, daß die feinsten Bodenanteile die Träger des leichtlöslichen Kalis vorstellen. Dieser Zusammenhang wurde z. B. von Schneidewind (7) ausdrücklich betont und von Němec (8) geteilt (der Kaligehalt soll im allgemeinen gleichsinnig mit dem Tongehalt verlaufen). Abweichende Meinungen werden bei der Besprechung eigener Ergebnisse angedeutet.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die Stichhaltigkeit der angeführten Beziehungen mit genaueren Verfahren als den bisher benutzten zu prüfen. Will man einen Zusammenhang zwischen 2 Zahlenreihen ausfindig machen, kann man hierfür entweder graphische oder rechnerische Methoden heranziehen. Die graphischen Verfahren haben zwar den Vorteil einer größeren Anschaulichkeit (Vergleich des Kurvenverlaufes), haben aber den Nachteil einer mehr zeitraubenden Konstruktion und einer weniger exakten Ausdrucksweise des Ähnlichkeitsgrades der Kurven. Es werden daher die einfachen Rechnungsverfahren gewählt, die z. B. in der angewandten Wetterkunde üblich sind.

a) Einfache Ausrechnung der Korrelation aus der Rangordnungsdifferenz (Holdefleiß, 9).

Die zu vergleichenden Werte werden in gleichem Sinne dem Rang nach geordnet (in auf- oder absteigender Reihenfolge) und die Rangordnungsdifferenz der miteinander koordinierenden Wertepaare sowie die Summe dieser Differenzen festgestellt. Verlaufen die beiden Reihen vollkommen übereinstimmend, d. h. herrscht zwischen ihnen eine vollkommen positive Korrelation, so ist die Summe der Differenzen gleich Null; verlaufen die Rangordnungsreihen umgekehrt, erreicht die Differenzsumme den möglichen Höchstwert (vollkommene negative Korrelation). Beträgt die Summe der Differenzen die Hälfte der möglichen Höchstsumme oder weniger, so ist die Beziehung (Korrelation) als angedeutet anzusehen.

Bezeichnet man die Zahl der Reihenglieder mit n, gelten für die Berechnung der Höchstdifferenzensumme (S max) die einfachen Formeln:

bei n gerade $$S\ max = n \frac{n}{2}$$

bei n ungerade $$S\ max = (n-1) \frac{n+1}{2}$$

Dieses einfache Verfahren ermöglicht eine rasche, aber nur annähernde Nachprüfung der Stichhaltigkeit des Ähnlichkeitsgrades und wurde deshalb nur für die erste Orientierung benutzt.

b) Die Berechnung des Korrelationsfaktors (Koeffizienten) — durch genaueres Verfahren — wurde nach der vereinfachten englischen Methode (Bravais, Pearson, Hutton — 10; Exner 11) ausgeführt. Sind 2 Zahlenreihen gegeben (mit n Gliedern), von denen je 2 Zahlen miteinander koordinieren, so werden zuerst die arithmetischen Mittelwerte beider Reihen und dann die Abweichungen der Einzelwerte derselben vom Mittelwerte der betreffenden Reihe mit Rücksicht auf das Vorzeichen ($\pm x$, $\pm y$) ermittelt. Die Summen der Produkte S (xy) und der Quadrate ($S x^2$, $S y^2$) der Abweichungen bilden die Grundlage für die Berechnung des Korrelationsfaktors r:

$$r = \frac{S(xy)}{\sqrt{Sx^2 \cdot Sy^2}}$$

Bei vollkommener Übereinstimmung der Reihen ist $r = +1$; bei entgegengesetzter Beziehung gilt $r = -1$. Fehlt jede Beziehung zwischen den verglichenen Reihen, so wird r annähernd $= 0$.

Zur sicheren Feststellung der Korrelation muß noch der wahrscheinliche Fehler des Korrelationsfaktors r nach der Formel

$$f = \frac{0{,}6745\ (1 - r^2)}{\sqrt{n}}$$

bestimmt werden, wobei n die Anzahl der verglichenen Größenpaare bedeutet.

Soll die Korrelation mit praktisch zusagender Genauigkeit als gesichert angesehen werden, so muß das Verhältnis r : f gleich oder größer sein als 6.

I. Die Beziehungen zwischen der Korngrößenzusammensetzung, dem Porenvolumen und der Wasserkapazität.

Zur Lösung dieser Frage wurden dem reichen Zahlenmaterial der mechanischen und physikalischen Analysen 106 Bodenproben als Beispiele zur Berechnung entnommen. Die mechanische Zusammensetzung wurde nur durch den Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen (Korngröße unter 0,01 mm) gekennzeichnet; dieser Gehalt bildet eine kontinuierlich absteigende Reihe mit den Grenzwerten von 94,5 zu 1,3 %. Das Porenvolumen schwankt zwischen 53 und 34 Vol.-%; die „absolute" Wasserkapazität (nach Kopecky bestimmt) zwischen 55 und 60 Vol.-%. Um den Einfluß der Struktur, der verschiedenen Auflockerung und des schwankenden Humusgehaltes möglichst auszuschalten, wurden zum Vergleich überwiegend mineralische Unterboden aus einer Tiefe von 40 bis 60 cm entnommen.

1. Die Gesamtbeziehung für die ganze Reihe von 106 Gliedern wurde a) aus der Rangordnungsdifferenz und b) aus dem Korrelationsfaktor mit folgenden Ergebnissen berechnet:

a) Aus der Rangordnungsdifferenz ergibt sich

Die mögliche Höchstsumme der Rangordnungsdifferenzen (bei n = 106)		S max	5618
Die Hälfte der Höchstsumme		S max/2	2809
Tatsächlich berechnete Summe der Rangordnungsdifferenzen zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und	dem Porenvolumen	Sbp	2614 < 2809
	der Wasserkapazität	Sbw	1846 < 2809

In beiden Fällen ist die wirkliche Summe (Sb) kleiner als S max/2, was für das Bestehen einer positiven Korrelation spricht. Bei dem Porenvolumen ist dagegen die Beziehung ziemlich ungenau, da der Wert von Sb nur unbedeutend niedriger als S max/2 ausfällt. Etwas bestimmter scheint die positive Korrelation bei der Wasserkapazität zu sein (Sb bedeutend niedriger als

S max/2). Im allgemeinen scheint eine schwache Tendenz der direkten Beziehung zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und dem Porenvolumen und ein etwas engerer Zusammenhang zwischen der Feinkörnigkeit und der Wasserkapazität des Bodens zu bestehen.

b) Die Ergebnisse der Berechnung des Korrelationsfaktors sind in der nachstehenden Übersicht zusammengestellt:

Der Wert	Für die Beziehung zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und	
	dem Porenvolumen	der Wasserkapazität
des Korrelationsfaktors r	0,132	0,252
des wahrscheinlichen Fehlers des Korrelationsfaktors f	0,064	0,061
des Quotienten r/f	2,05	4,11

Aus den niedrigen Werten von r und r/f kann der Schluß gezogen werden, daß zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen, dem Porenvolumen und der Wasserkapazität im allgemeinen keine bestimmte Beziehung besteht. Die Wahrscheinlichkeit einer positiven Korrelation ist jedoch bei der Wasserkapazität etwas größer als bei dem Porenvolumen. Die Ergebnisse der beiden Rechnungsverfahren (a und b) stimmen befriedigend überein, wobei die Berechnung des Korrelationsfaktors eine genauere Beurteilung der Beziehung gestattet.

Ein engerer Zusammenhang zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und den beiden geprüften physikalischen Eigenschaften besteht nicht, was wohl auf das gleichzeitige Vorhandensein mehrerer anderer Einflüsse, die eine Verwicklung der Beziehungen zur Folge haben, zurückzuführen ist. Auf diese Umstände haben schon die älteren Bodenkundler aufmerksam gemacht, z. B. Wollny (2) auf den Einfluß des Bodengefüges und der Bodenteilebeschaffenheit (3); Fesca (12) auf den Einfluß des Humusgehaltes; Loughridge (13) auf den Einfluß der zeolithischen Silikate usw. Die Tatsache, daß eine Kennzeichnung der Korngrößenzusammensetzung allein durch den Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen unvollständig ist, und daß auch die mineralischen Untergrundschichten sogar in gleicher Tiefe abweichende Strukturverhältnisse aufweisen können, genügt, die durch Berechnung bewiesene Abwesenheit engerer Beziehungen zu erklären.

Zum weiteren Studium der Zusammenhänge wurde die ganze Reihe (mit 106 Gliedern) in 10 Bodenartengruppen mit einer Spannweite des Gehaltes an abschlämmbaren Bestandteilen von 10% (bei den echten Lehmböden von nur 5%) zerlegt.

2. Im Rahmen dieser Bodenartengruppen kann schon im voraus vermutet werden, daß sich der Einfluß des Ton-

gehaltes in der Spannweite von 10, bzw. nur 5 °/₀ kaum so stark durchzusetzen vermag, um engere Beziehungen hervorrufen zu können. Nach der Berechnung wurden nur einige Fälle herausgegriffen, die als Beispiele einer angedeuteten und einer gänzlich fehlenden Korrelation angeführt werden können:

Korrelationswerte für	Bodenartengruppen mit dem Gehalt an abschl. Bestandteilen			
	60—70 °/₀	20—30 °/₀	unter 10 °/₀	
	das Porenvolumen	die Wasserkapazität	P	Wo.
S max/2	25	25	42	42
S berechnet	24	24	48	59
r	0,394	0,228	0,151	0,181
f	0,180	0,202	0,183	0,542
r/f	2,19	1,13	0,83	0,33

Den günstigsten Fall einer angedeuteten positiven Korrelation zwischen der I. Fraktion und dem Porenvolumen stellen die schweren tonigen Böden mit 60—70 °/₀ der I. Fraktion dar; für die Wasserkapazität wäre es der Fall bei den lehmigsandigen bis sandig-tonig-lehmigen Böden mit 20—30 °/₀ der I. Fraktion. Von einer bestimmten Beziehung kann jedoch auch hier nicht gesprochen werden, da die Korrelationswerte r und r/f die für die Stichhaltigkeit der Beziehungen verlangten Grenzwerte bei weitem nicht erreichen. Gar keinen Zusammenhang zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und den physikalischen Werten weisen die Sande unter 10 °/₀ der I. Fraktion auf.

3. Zu einer ganz bestimmten Korrelation gelangt man aber, wenn man die Durchschnittswerte (arithmetische Mittel) des Gehaltes an abschlämmbaren Bestandteilen, des Porenvolumens und der Wasserkapazität für die einzelnen Bodenartengruppen ermittelt und miteinander vergleicht:

Diese Durchschnittswerte sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt:

Bodenartengruppe	Durchschnittswerte für den Gehalt an abschl. Bestandteilen Gew.-°/₀	das Porenvolumen Vol.-°/₀	die Wasserkapazität Vol.-°/₀
I.	84,9	45,1	44,3
II.	74,4	46,9	40,9
III.	65,4	43,4	39,0
IV.	55,2	43,4	38,4
V.	47,1	42,4	36,6
VI.	42,4	41,1	35,6
VII.	35,7	41,5	33,2
VIII.	25,5	40,4	28,5
IX.	14,6	41,4	26,2
X.	4,9	40,5	16,1

Die Korrelationswerte für die Beziehung zwischen den angeführten Durchschnittswerten bei den Bodengruppen zeigt die kurzgefaßte Übersicht:

Korrelations-werte	Für die Beziehung zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und	
	dem Porenvolumen	der Wasserkapazität
S max/2	25	25
S berechnet	13	0
r	0,874	1,01
f	0,050	— 0,005
r/f	17,4	202,0

Aus den Ergebnissen der Berechnung ist klar zu ersehen, daß zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und der Wasserkapazität eine vollkommen positive Korrelation besteht: die Wasserkapazität ist direkt proportional dem Tongehalt der Bodenart ($r = +1$, r/f mehr als 30mal größer als der erforderte Mindestwert 6). Auch das Porenvolumen steht in beträchtlich enger — wenn auch nicht ganz vollkommener — Beziehung zu dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen: es steigt mit der zunehmenden Feinkörnigkeit des Bodens.

In praktischer Hinsicht führt die mathematische Feststellung der Beziehungen zu der Erkenntnis, daß aus der Korngrößenzusammensetzung kein verläßlicher Schluß auf das Porenvolumen und die Wasserkapazität bei den einzelnen Bodenarten gezogen werden kann. Die Durchschnittswerte der ganzen Bodenartengruppen ermöglichen zwar eine ziemlich sichere Beurteilung der gegenseitigen Zusammenhänge der verglichenen Größen, was jedoch ohne besondere Bedeutung ist.

II. Die Beziehungen zwischen der Korngrößenzusammensetzung und dem Gehalt des Bodens an leichtlöslichem Kali.

Die Feststellung dieser Beziehung mit Hilfe eines Rechnungsverfahrens wurde bei einer Reihe von 110 Ackerkrumenproben durchgeführt. Die geprüften Ackerkrumen gehören zum Teil den braunen Waldböden (mitteleuropäische Braunerden), zum Teil den stärker ausgelaugten, podsolierten Böden an; in petrographischer Hinsicht sind das Diluvial-, Gneis- und Granitböden. Die mechanische Zusammensetzung wurde wieder nur durch den Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen gekennzeichnet, der in absteigender Reihe von 70 auf 20% sinkt, wobei der Kaligehalt (d. h. in 1% Zitronensäure lösliches Kali) zwischen 36 bis 300 mg/1 kg schwankt. Wie im Falle der Korrelationen zwischen der Bodenkörnigkeit und den physikalischen Eigenschaften wurde auch hier

die Gesamtkorrelation — für die ganze Reihe der Bodenproben — und die Korrelation für die Durchschnittswerte der Bodenartengruppen nachgeprüft. Der Kürze halber sind nur die Hauptergebnisse dieser Berechnung angeführt.

1. Bei dem Gesamtvergleich wurden die folgenden Korrelationswerte ermittelt:

Die Korrelationswerte	Für die Beziehung zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und dem Kaligehalt
S max/2	3025
S berechnet	3332
r	0,0996
f	0,0678
r/f	1,47

Aus den Ergebnissen der beiden Rechnungsverfahren ist klar und übereinstimmend ersichtlich, daß zwischen dem Gehalt an leichtlöslichem Kali und dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen im allgemeinen keine bestimmte Beziehung besteht.

2. Zum Vergleich der Durchschnittswerte wurde die ganze Reihe in 6 Bodenartengruppen, je nach dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen, zerlegt (mit 20—30, 31—40, 41—45, 46—50, 51—60 und 61—70% der I. Fraktion); für die einzelnen Gruppen wurden die Durchschnittswerte der betreffenden Größen ermittelt.

Zur Feststellung der gegenseitigen Beziehung wurden für den Korrelationsfaktor folgende Werte berechnet:

$$r = -0{,}254;\quad f = 0{,}258;\quad r/f = 1.$$

Aus dem etwas höheren negativen Wert des Korrelationsfaktors könnte vielleicht an die Tendenz einer entgegengesetzten Beziehung — nämlich Ansteigen des Kaligehaltes mit Abnahme der Feinkörnigkeit des Bodens — geschlossen werden. Dieser Befund stimmt mit der Ansicht überein, daß in leichteren Böden das Kali verhältnismäßig leichter zugänglich ist als in schwereren Böden (siehe z. B. Wagner, 14). Wird aber gleichzeitig der hohe Wert des wahrscheinlichen Fehlers des Korrelationsfaktors (f) und umgekehrt der niedrige Quotient r/f mit berücksichtigt, erscheint dieser Schluß als unhaltbar, denn diese Werte beweisen, daß sogar zwischen den Durchschnittswerten der Bodenartengruppen keine engeren Beziehungen bestehen.

Dieses Ergebnis kann als Bestätigung der fast selbstverständlichen Tatsache dienen, daß der Gehalt des Bodens an leichtlöslichem Kali durch die Mitwirkung zahlreicher Faktoren, unter denen die Körnigkeit nur eine untergeordnete Rolle spielt, bedingt wird. Von ausschlaggebender Bedeutung ist vor allem die Düngungsergiebigkeit — diesbezügliche Beweise hat der Verfasser in einer anderen Abhandlung über den Kaligehalt in Ackerkrumen verschiedener Bodentypen und Bodenarten erbracht.

Zusammenfassung.

1. Es wurde an einigen Beispielen die Anwendung einfacher Korrelationsrechnungsverfahren vorgeführt, um die gegenseitigen Beziehungen zwischen einigen Bodeneigenschaften, bei denen ursächliche Zusammenhänge vermutet werden können, zu beweisen.

2. Diese Rechnungsverfahren, d. h. die Berechnung nach Rangordnungsdifferenzen und mittels des Korrelationsfaktors, sind einfacher und bieten mathematisch exaktere Ergebnisse als die graphische Darstellung, vorausgesetzt, daß man über zahlreiches Vergleichsmaterial verfügt.

3. Die Ergebnisse über die Feststellung von Korrelationen zwischen der Zusammensetzung der Korngrößengruppen und den wichtigsten physikalischen Bodeneigenschaften (Porenvolumen, Wasserkapazität), zwischen welchen verhältnismäßig einfache Beziehungen zu bestehen scheinen, lassen einen praktisch wichtigen Schluß zu: Nicht einmal bei den scheinbar einfachen Beziehungen besteht zwischen den verschiedenen Bodeneigenschaften ein so enger Zusammenhang, daß man aus dem Zahlenwert der einen Bodeneigenschaft den Zahlenwert einer anderen ableiten könnte (z. B. aus dem Zahlenwert des Gehaltes an abschlämmbaren Bestandteilen den Wert für das Porenvolumen oder für die Wasserkapazität).

4. Um so gewagter erscheint es, wenn auf Grund von Laboratoriumsversuchen mit homogenem Material (z. B. mit reinen Quarzsanden bestimmter einheitlicher Korngröße u. ä.) mehr oder weniger komplizierte mathematische Formeln zur Berechnung der physikalischen Zustände des gewachsenen Bodens abgeleitet werden. Die Ungleichmäßigkeit und Ungleichartigkeit der Bodenbeschaffenheit im natürlichen Zustand und die daraus folgende Kompliziertheit der gegenseitigen Beziehungen und Zusammenhänge der zahlreichen Bodeneigenschaften verlangen unbedingt, daß die Ermittlung von physikalischen Verhältnissen nur bei den Bodenproben im natürlichen Zustand für jeden gegebenen Fall für sich erfolgen darf und muß, und daß jede Verallgemeinerung der Ergebnisse versagt.

5. In noch erhöhtem Maße gilt diese Forderung für die Untersuchung der physikalisch-chemischen Eigenschaften, deren gegenseitige Beziehungen sich vermutlich noch verwickelter gestalten.

6. Aus den Ergebnissen kann endlich geschlossen werden, daß die Kompliziertheit der gegenseitigen Beziehungen von zahlreichen Bodeneigenschaften — bzw. die Abwesenheit etwaiger Zusammenhänge überhaupt — die Gesamtkennzeichnung des Bodens durch eine einzige Kennzahl („single value“) ausschließt.

Schrifttum.

1. Niklas, H., u. Miller: Die Bestimmung von Grenzzahlen der Bodenuntersuchungsmethoden nach Rangmethode. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 8, 1938, 262—266.

2. Wollny, E.: Untersuchungen über den Einfluß der Struktur des Bodens auf dessen Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnisse. Forsch. auf d. Gebiete d. Agrikultur-Physik. Heidelberg, 5, 1882, 145—168.
3. Derselbe: Untersuchungen über die Wasserkapazität der Bodenarten. Ebenda, 8, 1885, 177—205.
4. Soyka, J.: Beobachtungen über die Porositätsverhältnisse des Bodens. Ebenda, 8, 1885, 1—16.
5. Stahl-Schröder, M.: Über Wasser- und Luftkapazität einiger Bodenarten. Ebenda, 17, 1894, 31—34.
6. Wollny, E.: Untersuchungen über die Sickerwassermengen in verschiedenen Bodenarten. Ebenda, 11, 1888, 1—68.
7. Schneidewind, W.: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, Berlin, 1920, 185.
8. Němec, A.: Über die ertragsteigernde Wirkung der Kalidüngung zu Kartoffeln unter Berücksichtigung der Bodenreaktion. Ernähr. d. Pflanze, Berlin, 33, 1937, 161—165.
9. Holdefleiß, P.: Agrarmeteorologie. Berlin, 1930, 74.
10. Ebenda, S. 75—77.
11. Exner, F. M.: Der Korrelationsfaktor und seine Verwendung in der Meteorologie. Meteorolog. Z., Braunschweig, 27, 1919, 263—266.
12. Fesca, M.: Über Wasserleitung, Wasserkapazität u. Durchlüftbarkeit des Bodens. Forschg. auf d. Gebiete d. Agrikultur-Physik, Heidelberg, 10, 1887, 365—367.
13. Loughridge, R.-H.: Die mechan. Zusammensetzung d. Böden in bezug auf Feuchtigkeit u. Wasserbewegung. Ebenda, 18, 1895, 351—356.
14. Blanck, E.: Handbuch d. Bodenlehre, Berlin, 9, 1931, 230. [300]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3

Experimentelle Untersuchungen über das Eindringen der strahlenden Energie in den Boden.

Von Franz Frischmann.

Aus dem Botanischen Institut der Kgl. Ung. Palatin Joseph-Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften in Sopron, Ungarn.
Direktor: Prof. Dr. Fehér.

Eingegangen: 21. Februar 1939.

Einleitung.

Unzählige und umfangreiche Arbeiten widmeten Physiker, Chemiker und Biologen der Sonnenstrahlung, als bedeutendster Energiequelle der Erde. All diesem Forschungsstreben scheint jedoch die Erdrinde bisher eine natürliche Grenze gesetzt zu haben, denn die meisten Untersuchungen erstrecken sich auf Verhalten, Schicksal und Wirkung der strahlenden Energie der Sonne bis zu ihrem Eindringen in die oberste Erdrindenschichte.

Auf die folgenden, für Landwirtschaft, Bodenkunde und Bodenbiologie so überaus wichtige Fragen:

wie sich die Sonnenstrahlen in Berührung mit der obersten Bodenschichte und beim Eindringen in die tieferen Schichten verhalten;

in welchem Maße und welchem Wellenlängenbereich entsprechend wird die auf verschiedene Böden verschiedener Beschaffenheit und Farbe fallende strahlende Energie, bei konstanter Strahlungsintensität und gleichbleibendem Einfallswinkel, von diesen reflektiert und beim Eindringen in die Böden von diesen absorbiert, respektive durchgelassen;

ob die absorbierte Strahlenenergie in Wärmeenergie allein oder auch in chemische Energie oder Lichtenergie anderer Wellenlängen verwandelt wird;

in welchem Verhältnis die sekundär durch Absorption entstandene Wärmeenergie in die tieferen Bodenschichten weitergeleitet wird;

und zuletzt, welche Wirkung die in den Boden direkt eindringenden Strahlen und die sekundären Wärmestrahlen auf die Lebensäußerung und Tätigkeit der Bodenbewohner und auf die wichtigsten biochemischen und biophysikalischen Prozesse ausüben, finden wir im einschlägigen Schrifttum nur spärliche Hinweise.

In bezug auf das Verhalten der Böden gegenüber den Sonnenstrahlen finden wir im Schrifttum, kurz zusammengefaßt, nur folgendes:

Unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen wird die oberste Schichte des Bodens sehr stark erwärmt, von der aus die Wärme in tiefere Schichten weitergeleitet wird. Durch die Insolation und Änderung der Tages- und Jahresintensität derselben werden in den oberen Bodenschichten Tages- und Jahrestemperaturschwankungen registriert, von denen die Tagestemperaturschwankungen bis 1 m Tiefe, die Jahrestemperaturschwankungen bis 20—30 m Tiefe

beobachtet werden (siehe Knoch 1). Knoch (1) gibt an, daß diese Temperaturschwankungen in Wüsten und trockenen Steppen größer sind als in feuchten Böden und vegetationsreichen Gegenden und ebenso in Tälern und Mulden höher sind als auf Bergen und Hügeln. Für die besondere Verteilung der Wärme ist weiterhin die besondere Beschaffenheit des Bodens, sein Temperaturleitungskoeffizient, die Bodenfeuchtigkeit und das Bodengefüge ausschlaggebend, denn je lockerer das Gefüge des Bodens, um so geringer sein Leitungsvermögen.

H. Fesefeldt (2) behandelt die theoretische Grundlage des Wärmeleitvermögens und der Temperaturleitfähigkeit von Mineralien und Gesteinen. Die bei stationärem Zustand der Wärmeströmung durch den Boden hindurchströmende Wärmemenge und das Temperaturgefälle soll durch das Grundgesetz der stationären Wärmeströmung und des Wärmeleitvermögens (Biot-Fouriersches Gesetz) bedingt werden. Die Temperatur- und Wärmemengengefälle verhalten sich hiermit linear zur Dicke der durchdrungenen Schichten.

Littrow (3) bestimmte das relative Wärmeleitvermögen verschiedener Böden, wobei die Wärmezufuhr nicht durch Strahlung sondern durch direkte Leitung erfolgte, und berichtet, daß trockener und feinkörniger Boden schlechter die Wärme leitet als nasser und grobkörniger und daß Magnesium und Kalzium das Wärmeleitvermögen des Bodens herabsetzen.

Unter Anwendung derselben Methode der Wärmeübertragung durch direkte Leitung haben weiterhin Haberlandt (4), Pott (5) und Wagner (6) das relative Wärmeleitvermögen verschiedener Böden verglichen und diese je nach ihrem Wärmeleitvermögen eingereiht.

All diese Arbeiten haben für das Studium des Strahlenenergiehaushaltes der Böden durch Sonnenbestrahlung nur ein relatives Interesse, denn bei diesen Arbeiten wurden stets Temperaturmessungen vorgenommen, und den Böden wurde Wärmeenergie durch Leitung und nicht Lichtenergie durch Strahlung zugeführt.

Eine Arbeit, die auch das Verhalten der Böden gegenüber der strahlenden Lichtenergie untersucht, ist die von D. Fehér und M. Frank (7). Aus den Untersuchungen dieser Autoren geht die für die Okologie der Algen wichtige Tatsache hervor, daß die Menge des vom Boden durchgelassenen Lichtes mit Zunahme der Wellenlänge ganz beträchtlich zunimmt, daß der sichtbare Anteil der Sonnenstrahlen von den obersten Schichten reflektiert und absorbiert wird und so nur der sichtbar rote und ultrarote Anteil der strahlenden Energie bis in die von den Algen bewohnten Bodenschichten vordringen. Der sichtbare Anteil der Sonnenstrahlen kann hiermit für die Lebensäußerung der Algen kaum in Betracht gezogen werden. Je tiefer die Strahlen in den Boden eindringen, desto mehr nimmt ihre Wellenlänge zu.

Goll (8) berichtet über die Reflexion sichtbarer Strahlen an verschiedenen Böden. Wegen der selektiven Empfindlichkeit des hierzu verwendeten Photometers (Doppelschichtzelle mit Empfindlichkeit für Lichtstrahlen von 400—750 Millimikron) wurde nur der sichtbare Teil der reflektierten Strahlen gemessen. Die absorbierte und reflektierte Lichtmenge wurde nur durch eine Verhältniszahl ermittelt und nicht in Energieeinheiten angegeben.

Zweck der vorliegenden und der folgenden Arbeiten ist es, zur Erforschung der wichtigsten, in der Einleitung aufgeworfenen Fragen einen Beitrag zu leisten.

In dieser Arbeit sollen:

1. die bei Bestrahlung verschiedener Böden, verschiedener Beschaffenheit und Farbe, reflektierten Energiemengen und deren Spektralzugehörigkeit;
2. die bei der Bestrahlung der Böden, mit zunehmender Schichtdicke je Zeit- und Flächeneinheit durchgelassene, respektive ausstrahlende Energiemenge festgestellt werden, deren Spektralzugehörigkeit geprüft werden und der funktionelle Zusammen-

hang zwischen der von Böden nach verschiedener Schichtdicke ausstrahlender Energie, der Bestrahlungsdauer und den auf die Flächeneinheit der Bodenoberfläche fallenden Energiemengen ermittelt werden. Es soll weiterhin geprüft werden, ob durch Änderung des Spektrums der auf die Bodenfläche fallenden Strahlen, die Spektralzugehörigkeit der den Boden verlassenden Strahlen beeinflußt wird.

Methodik.

Als künstliche Lichtquelle wurde zur Messung der Reflexion eine Projektionslampe, mit geeignetem Kondensor, und 6 Volt 6 Ampère Niedervoltglühbirne, zur Messung des Strahlendurchganges eine 1500-Watt-Projektionsglühbirne (der Firma Tungsram), dauernd bei 100 V Spannung, verwendet. Um eine besonders gleichmäßige Lichtstärke zu erhalten, wurden diese Lampen mit Gleichstrom gespeist, und zum Ausgleich der Spannungsschwankungen wurden ihnen Regulier- und Eisenwiderstände vorgeschaltet und Spannung sowie Stromstärke des Lampenstromkreises während der Bestrahlungsdauer fortwährend kontrolliert. Es ist uns so auch gelungen, eine praktisch absolut gleichmäßige Leuchtstärke der Beleuchtungskörper während der Bestrahlung der Böden zu sichern.

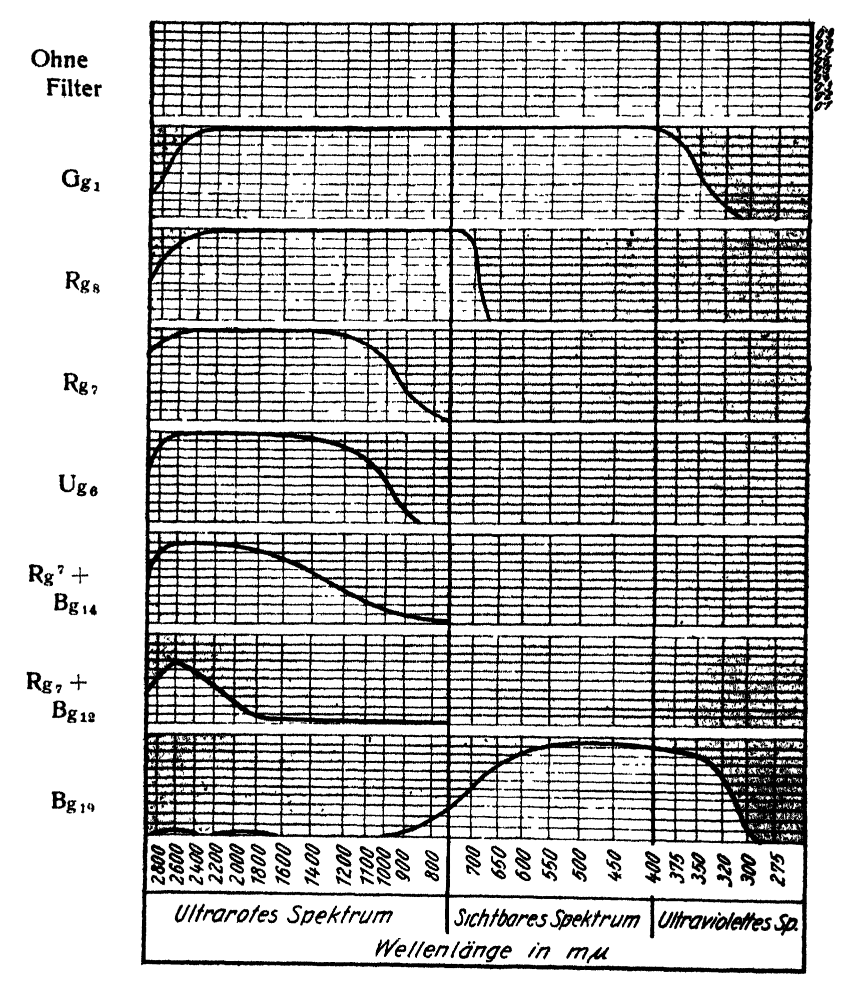
Die spektrale Energieverteilung dieser beiden Lichtquellen wurde relativ zu den bei unseren Versuchen verwendeten Lichtfiltern (der Firma Schott & Gen., Jena) bestimmt und zwar derart, daß die von der Lichtquelle ausstrahlende Energiemenge, mittels der Thermosäule gemessen, gleich 100 angenommen wurde und nach Vorschalten der verschiedenen Filter die von diesen durchgelassene, respektive absorbierte Energiemenge in Prozenten der obigen Vergleichsziffer ausgedrückt wurde. In Abbildung 1 sind die Wellenlängenbereiche der von diesen Filtern durchgelassenen und absorbierten Strahlen abgebildet und die Energiewerte der dieser Wellenlängenbezirke angehörigen Strahlen der Lampe in Prozenten der gesamten Strahlungsenergie des Leuchtkörpers angegeben.

Verwendet wurden die in Tabelle 1 angeführten Bodengattungen. Bei Messung der Reflexion wurden außerdem Quecksilber (Hg), weißer Meeressand (M_1) und Tierkohlenstaub (C) verwendet.

Tabelle 1.

Bezeichnung	Standort	Farbe	Beschaffenheit
der Böden			
N_4	Sopron (Ungarn), Brache	lichtgelb	mit Sand vermischter Lehmboden
ANG	Angern (Deutschland), Ackerboden	schwarzgrau	mit wenig Sand vermischter Lehmboden
A/V	Tedjidda-n-Tessen, Sudan (Afrika)	rot	Lateritboden
A/B	Boghari, Sahara-Atlas (Afrika)	braun	Lehmboden
A/O	El-Golea, Sahara (Afrika)	lichtrotgelb	Sandboden einer Düne
A/S	Oued Anzi, südlich von Tamanrasset, Sahara (Afrika)	lichtgelbrot	Flußsand
A/SZ	Fraser Island, Queensland (Australien)	grauschwarz	Lehmboden

Spektrale Energieverteilung der benützten Lichtquellen.



Filter	Durchlässigkeit bei der 1500-Watt-Lampe in %	Durchlässigkeit bei 6 V Projektionslampe in %
Ohne Filter	100,00	100,00
Gg_1	91,32	93,00
Rg_8	81,35	80,33
Rg_7	63,94	61,33
Ug_6	56,10	54,10
$Rg_7 + Bg_{14}$	33,36	31,00
$Rg_7 + Bg_{12}$	9,35	7,20
Bg_{19}	9,75	12,00

Abb. 1.
Spektralverteilung der angewendeten Filter nach Angaben von Schott & Gen, Jena.

Da eine systematische Untersuchung über die Reflexion, Absorption und Durchlässigkeit verschiedener Bodengattungen gegenüber Lichtstrahlen infolge der Inhomogenität und der überaus verschiedenartigen und komplizierten, mechanisch und chemisch-physikalischen Zusammensetzung verschiedener Böden sich überaus schwierig gestaltet und von verschiedenen Faktoren, wie Poren- und Körnchengröße des Versuchsmaterials, Temperatur des Bodens am Anfang der Strahlenwirkung und Wassergehalt des Bodens abhängt, wurde, um ein Vergleichsmaterial unter gleichartigen Voraussetzungen zu erhalten, von den Versuchsböden nur jenes Material verwendet, welches durch ein 0,5-mm-maschiges Sieb hindurchging, nachher bei 105° C getrocknet wurde und hierauf in doppelwandigen Petrischalen bei einer gleichmäßigen Temperatur von 17—18° C in einem dunklen Exsikkator bis zum Versuche aufbewahrt wurde.

Bei Prüfung des Strahlendurchganges durch die Böden wurde, zur Sicherung der gleichbleibenden Versuchsbedingungen, als Versuchsgerät eine vertikale optische Bank verwendet, auf der wir senkrecht zu einem doppelwandigen Aluminiumkasten, in Mitte dessen oberer Fläche eine Thermosäule eingebaut war, die Bestrahlungslampe angeordnet haben. Einfallswinkel der Strahlen und Distanz der Leuchtspirale von der bestrahlten Oberfläche wurden bei allen Versuchen vollkommen gleich gehalten. So gelangten bei allen Versuchen je Zeiteinheit die gleichen Mengen strahlender Energie auf die Flächeneinheit der bestrahlten Oberfläche. Über die Fläche der im Metallkasten eingebauten Thermosäule wurde eine 120 · 120 mm große und 2 mm dicke planparallel geschliffene Filterplatte der Sorte Gg_1 angebracht und auf dieser die Metallrahmen zur Füllung mit den Versuchsböden in der Schichtdicke von 1, 2, 4, 8 mm und in einem Flächenausmaße von 100 · 100 mm angeordnet. Die Entfernung von der Leuchtspirale der 1500-Watt-Lampe bis zur Oberfläche der Filterplatte (und nachher bis zur Oberfläche eines jeden bestrahlten Bodens) betrug konstant 125 mm. Es sind auf die bestrahlte Oberfläche ständig, pro Zeit- und Flächeneinheit, mit Thermosäule und tieferstehendem Galvanometer gemessen, nach Eichung mit der Hefnerkerze errechnet, bei der 1500-Watt-Lampe, 1200 Galvanometerausschlägen entsprechend $8{,}64 \cdot 10^6$ Erg/sec. cm^2 gleich $216 \cdot 10^{-3}$ cal/sec. cm^2 Energie gefallen. In den auf der Filterplatte immobil fixierten Rahmen wurden die Versuchsböden in der entsprechenden Menge von 10, 20, 40, 80 cm^3 nach Schüttelung in einem Meßkolben, zur Erzielung eines größtmöglich gleichbleibenden Gefüges, eingefüllt und mittels einer glatten Metallspachtel gleichgestrichen. Zur Erzielung der konstanten Entfernung von 125 mm zwischen Leuchtspirale der Lampe und bestrahlter Oberfläche wurde durch einen Schraubmechanismus mit Millimeterskaleneinteilung der innere Aluminiumkasten dem äußeren gegenüber, samt Thermosäule + Filterplatte + Rahmen und Boden, um soviel gesenkt als Schichtdicke des Bodens auf die Filterplatte aufgetragen wurde. Wurden zwischen der, den Rahmen tragenden Filterplatte und Thermosäule andere Filter eingeschaltet, so haben wir den inneren Aluminiumkasten stets um die Dicke dieser Filter verrückt.

Zur Messung des Energiewertes der Strahlen wurden Moll'sche Kleinoberflächenthermosäulen (der Firma Kipp & Zonen, Delft) verwendet, die auf selektive Spektralempfindlichkeit geprüft waren und dann mit den bei unseren Versuchen verwendeten Galvanometern auf eine „Hefnerkerze" geeicht wurden. Zur Verwendung gelangten: ein Drehspulgalvanometer mit Zeiger und Spiegelablesung und einer Empfindlichkeit von $22 \cdot 10^{-9}$ A. für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand („Miravi"-Galvanometer der Firma Hartmann & Braun), ein Drehspulspiegelgalvanometer (ebenfalls der Firma Hartmann & Braun), mit einer stromempfindlichen Wickelung, wobei 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand $7 \cdot 10^{-10}$ A. entspricht und einer spannungsempfindlichen Wickelung mit $0{,}2 \cdot 10^{-6}$ V für 1 mm Ausschlag bei 1 m Skalenabstand und schließlich ein spannungsempfindliches Zeigergalvanometer. Unter Verwendung von Regelwiderständen zur Empfindlichkeitsregelung der Galvanometer haben wir unter Eichung mit der Hefnerkerze und Thermosäule, für das, zur Messung der Lichtdurchlässigkeit der Böden verwendete Galvanometer (Drehspulspiegelgalvanometer mit spannungsempfindlicher Wickelung), eine

gewisse Anzahl von Galvanometerausschlägen als Einheit annehmend, dieser Einheit (1 GA) entsprechend 7200 Erg/sec cm² gleich $18 \cdot 10^{-5}$ cal/sec cm² berechnet. Näheres über die Eichung der Galvanometer mit der Thermosäule und der Hefnerkerze siehe Nuernbergk (9). Um eventuellen parasitären und vagabundierenden Thermokräften vorzubeugen, wurden kurze Leitungen gleichen Materials unter guter Abschirmung und bester Isolierung verwendet. Siehe Sewig (10).

Um Reflexion und Durchdringungsvermögen sichtbarer Strahlen zu messen, wurde der absoluten, energetischen Thermosäulenmessung bisweilen auch die Messung mit Sperrschicht-Photoelement (der Firma Tungsram, Budapest) mit Empfindlichkeit für Strahlen von 400—800 Millimikron Wellenlänge angeschlossen.

Bei der Strahlendurchlässigkeit der Böden wurde die ausstrahlende, den Boden verlassende Energie mittels der im Metallkasten eingebauten Thermosäule gemessen. Bestrahlungsdauer und die vom Galvanometer nach gewissen Zeitabständen erreichten Ausschläge wurden genauest chronometriert, wobei das Galvanometer ständig im Stromkreise der Thermosäule eingeschaltet war.

Die in der Arbeit angegebenen Zahlenwerte entsprechen Mittelwerten von mindestens 3 Untersuchungsergebnissen.

Da wir bei der Messung der von verschiedenen Böden reflektierten Energiemengen dieselben auf die Reflexionswerte des Quecksilbers, als ein fast zu 100 % reflektierenden Körper, bezogen haben und dieser Vergleich dadurch, daß Quecksilber eine absolut glatte, spiegelnd reflektierende Oberfläche besitzt und die Böden eine inhomogene, unebene, diffus reflektierende Oberfläche besitzen, unexakt sein könnte, müßten wir bei der Bestimmung der Reflexionswerte unter ganz anderen Versuchsbedingungen arbeiten als bei der Messung der Strahlendurchlässigkeit der Böden. Da verschiedene Versuche mit der 1500-Watt-Lampe, unter Verwendung von Thermosäulen mit verschiedenem Neigungswinkel, gegenüber der reflektierenden Oberfläche gezeigt haben, daß eine Änderung des Neigungswinkels der Thermosäulen bei den verschiedenen Böden kaum nennenswerte Unterschiede an Menge der reflektierten Strahlenenergie zeigen, während dieselbe Änderung des Einfallwinkels bei Quecksilber überaus große Unterschiede verursacht, haben wir, um den Reflexionswert der Böden auf das Reflexionsvermögen von Quecksilber beziehen zu können, eine Projektionslampe mit praktisch gleich parallel anzunehmendem Strahlengang verwenden müssen, damit Einfallswinkel der Lichtstrahlen und Neigungswinkel der Thermosäule der gleiche sei, damit hierdurch alle von der spiegelnd reflektierenden Oberfläche des Quecksilbers zurückgeworfenen Strahlen gemessen werden können. Verwendet wurde hierbei die oben angeführte optische Bank und Metallkasten mit Rahmen von 4 und 8 mm Dicke. Nach Füllen des Rahmens mit Quecksilber wurde an der optischen Bank die Projektionslampe so untergebracht, daß Einfallswinkel des Lichtkegels 20° und Distanz zwischen Leuchtspirale und bestrahlter Oberfläche 30 cm betrug, der durch den obenerwähnten Mechanismus stets auf gleicher Größe gehalten wurde. Die zur Messung dienende Thermosäule wurde ebenfalls an der optischen Bank so im reflektierten Lichtkegel untergebracht, daß Neigungswinkel desselben ebenfalls 20° zum Einfallslot und Distanz von der reflektierenden Oberfläche 15 cm betrug.

Bei der Messung der Reflexion und Durchlässigkeit sichtbarer Strahlen wurden an Stelle der Thermosäulen unter denselben Versuchsbedingungen die Sperrschichtzellen verwendet.

Versuchsergebnisse.

1. Über die Reflexion der strahlenden Energie an verschiedenen Böden verschiedener Farbe.

Die auf die Bodenoberfläche fallende strahlende Energie I wird in Berührung mit der Oberfläche zum Teil reflektiert I_r, beim

Durchdringen des Bodens zum Teil absorbiert I_a, zum Teil durchgelassen I_d.

$$I = I_r + I_a + I_d.$$

In dieser Gleichung können die I und I_d zukommenden Werte direkt, die I_r und I_a zukommenden Werte nur indirekt ermittelt werden. Die je Flächeneinheit auf den Boden fallende, sowie die je Flächeneinheit den Boden verlassende Energiemenge, kann mittels der Thermosäule direkt gemessen werden. Die je Flächeneinheit reflektierte Energiemenge kann einer direkten Messung nicht zugänglich gemacht werden, denn bei der Messung der Reflexionswerte mittels der Thermosäule bekomme ich nicht die von der Flächeneinheit reflektierte Energiemenge, sondern jene Energiemenge, die auf die Flächeneinheit der die reflektierten Strahlen auffangenden Oberfläche zustrahlt. Wenn man nun die auf die Oberfläche der Thermosäule reflektierten Strahlenenergiemengen der Böden mit der reflektierten Energie einer Substanz vergleicht, von der bekannt ist, ein wievielter Teil der auf die Flächeneinheit seiner Oberfläche fallenden Strahlen reflektiert wird und so sein Reflexionsquotient $R = I_r\,\% = \frac{I_r}{I} \cdot 100$ bekannt ist, so kann durch das Verhältnis $R_1 : R_2 = r_1 : r_2$, wobei r_1 und r_2 den auf die Thermosäule fallenden Energiewerten entsprechen, der Reflexionsquotient eines jeden Bodens berechnet werden.

Da Quecksilber 99,4% der sichtbaren Strahlen reflektiert, und so praktisch sein Reflexionsquotient gleich 100 angenommen werden kann, könnte man durch Vergleich der auf die Thermosäule fallenden Energiewerte der Böden mit denen des Quecksilbers den Reflexionsquotient der Böden ermitteln, wobei wiederholt werden soll, daß man unter „Reflexionsquotient" jenen prozentuellen Bruchteil der je Zeiteinheit auf die Flächeneinheit der Oberfläche fallenden Strahlenenergie versteht, der von dieser Fläche reflektiert wird.

Da uns vom Standpunkt des Strahlenenergiehaushaltes der Böden nicht nur der Energiewert der reflektierten sichtbaren Strahlen, sondern der Energiewert aller reflektierten Strahlen, also auch der unsichtbaren ultraroten interessiert, so können wir den Vergleich des Reflexionsvermögens der Böden zu Quecksilber nur dann anwenden, wenn Quecksilber die ultraroten Strahlen auch im selben Verhältnis wie die sichtbaren (von 99,4%) reflektiert. Bei Bestimmung der spektralen Energieverteilung der Lichtquelle finden wir, daß 12% der von der Lampe ausstrahlenden Energie dem sichtbaren, vom Filter B_g 19 durchgelassenen Spektralgebiet entspricht, daß 61,33% der Energie dem unsichtbaren ultraroten von Filter R_g 7 und 31% dem von Filter R_g 7 + B_g 14 durchgelassenem Spektralgebiet angehört. Durch Vorschalten dieser Filter vor der Thermosäule wurde auch die spektrale Energieverteilung der vom Quecksilber reflektierten Strahlen ge-

messen. Hierbei fanden wir, daß 12,22 % aller reflektierten Strahlen dem spektralen Durchlässigkeitsbereich des Filters B_g 19, 61 % dem des Filters R_g 7 und 30,70 % dem des Filters R_g 7 + B_g 14 angehören. Praktisch können also die spektrale Energieverteilung der Lampe und die der reflektierten Strahlen des Quecksilbers als gleich betrachtet werden. Da wir wissen, daß Quecksilber fast 100 % der sichtbaren Strahlen reflektiert und die Spektralenergieverteilung der reflektierten sichtbaren und ultraroten Strahlen dem der Lichtquelle gleich ist, muß angenommen werden, daß Quecksilber als ein unselektiv reflektierender Körper einen ebensolchen Anteil sichtbarer wie ultraroter Strahlen reflektiert. Es wird hiermit die Berechnung des Reflexionsquotienten der Böden durch Vergleich der Werte der auf die Thermosäule reflektierten Energiemengen mit dem des Quecksilbers, von dem angenommen wird, daß er praktisch 100 % aller Strahlen reflektiert, vollkommen gerechtfertigt. Ich muß noch hinzufügen, wie bereits in der Methodik erwähnt, daß bei der Reflexionsmessung eine solche Methode verwendet wurde, die den Vergleich der Reflexion von spiegelnd-reflektierenden und diffus-reflektierenden Oberflächen ermöglichte.

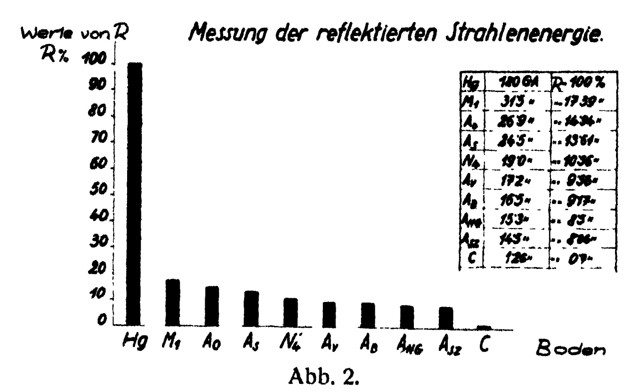


Abb. 2.

R = Reflexionsquotient der Böden. GA = Galvanometerausschläge. Hg = Quecksilber. M_1 = weißer Meeressand. C = Tierkohlenstaub. Bezüglich der übrigen Bezeichnungen siehe Tabelle 1.

In Abbildung 2 finden wir die Ergebnisse der reflektierten Strahlenenergiemessungen angegeben. Auf der Tabelle, Abbildung 2, sind die den je nach Boden auf das Thermoelement fallenden Energiemengen entsprechenden Galvanometerausschläge verzeichnet und durch Bezug dieser Werte auf das von Quecksilber, der Reflexionsquotient (R) der Böden errechnet.

Unter den Böden reflektiert am meisten weißer Meeressand R = 17,39 % und am wenigsten der graue Boden Asz mit R = 8,06 %. Als Mittelwert des Reflexionsquotienten der bei unseren Versuchen verwendeten Böden können wir R = 12,725 % angeben. Es ist ganz selbstverständlich, daß außer den Böden, sich dem absolut schwarzen Körper nähernd, Tierkohlenstaub am wenigsten reflektiert (R = 0,7 %).

Die Wertangaben in Abbildung 2 beziehen sich auf R bei Böden mit 4 mm Schichtdicke. Bei einer Schichtdicke von 8 mm findet man abzüglich minimaler Abweichungen, die im Bereiche der Messungsfehler liegen, dieselben Reflexionswerte. Das Reflexionsvermögen der Böden wird durch die Schichtdicke in keiner Weise beeinflußt.

Die Bestrahlungsdauer betrug jeweils 3 Minuten. Zur Erreichung stationärer Werte der Galvanometerausschläge sind je nach Böden 20—30 Sekunden erforderlich. Die sofort nach Beginn der Bestrahlung auftretende Reflexion beruht auf direkter Reflektierung der sichtbaren und ultraroten Strahlen, während die innerhalb der 20—30 Sekunden zunehmende Reflexion durch Ausstrahlung der Bodenoberfläche von sekundären Wärmestrahlen bedingt sein könnte. Die von uns angegebenen Werte von R beziehen sich auf den stationären Zustand der Reflexion. Die sekundär die Bodenoberfläche verlassenden Wärmestrahlen müssen ebenfalls zu den reflektierten gezählt werden, denn vom Standpunkte des Strahlenenergiehaushaltes verlassen auch diese Strahlen die Oberfläche. Experimentell läßt sich der direkte vom indirekt reflektierten Teil kaum trennen. Es braucht hier nicht näher begründet zu werden, daß dem physikalischen Gesetze der Reflexion entsprechend die Wellenlänge des direkt reflektierten Lichtes vom Boden selbst nicht geändert wird.

Die Frage, ob die Werte von R jeder Leuchtstärke der Lampe entsprechen, wurde so beantwortet, daß man durch Änderung der Distanz zwischen Leuchtspirale und bestrahlter Oberfläche verschiedene Energiemengen Lichtes auf den Boden projizierte und die hiernach erhaltenen Galvanometerwerte mit dem des Quecksilbers verglichen hat. Die Werte von R werden, wie zu erwarten, durch Änderung der Leuchtstärke der Lampe nicht beeinflußt.

Was Farbe und Reflexionsvermögen der Böden anbetrifft, so ist es überaus interessant, daß man je nach Abnahme der R-Werte die Böden auch nach ihrer Farbe einreihen kann. Je nach Farbe nimmt die Reflexion der Böden in folgender Reihenfolge ab: weiß, gelb, rot, braun, grauschwarz. Dunkle: rote, braune, und grauschwarze Böden reflektieren hiermit am wenigsten an strahlender Energie.

Zur Feststellung der Spektralzugehörigkeit der reflektierten Strahlen wurden der Thermosäule die Filter B_g 19, R_g 7 und R_g 7 + B_g 14 vorgeschaltet und hiernach berechnet, ein wievielter Teil der von einem jeden Boden reflektierten Strahlenenergie, dem Wellenlängenbereiche dieser Filter, dem sichtbaren respektive ultrarotem Spektrum angehören. In Abbildung 3 sind diese Werte in Prozent der von den Böden reflektierten Energiemengen angegeben. Die Werte von L in der Abbildung 3 entsprechen der Lichtquelle.

Es ist überaus interessant, daß bei der Kohle ein ebensolcher Teil der reflektierten Strahlen dem sichtbaren und ultraroten

Spektrum angehören als bei Quecksilber und bei der Beleuchtungslampe. Die von den Böden reflektierte Strahlenenergie ist relativ reicher an ultraroten und ärmer an sichtbaren Strahlen als die auf die Böden fallende Strahlenenergie selbst. Der Boden AB reflektiert relativ die wenigsten sichtbaren und die meisten ultraroten Strahlen.

Eine Frage, die noch beantwortet werden muß, ist die, ein wievielter Teil der sichtbaren und unsichtbaren Strahlen, die auf

Die relative Spektralzugehörigkeit der reflektierten Strahlenenergie.

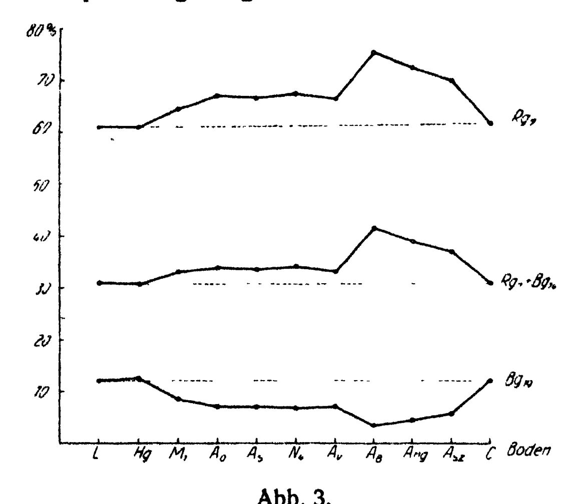


Abb. 3.

Die Werte von L entsprechen der Lichtquelle. Über spektrale Durchlässigkeit der Filter Rg_7, $Rg_7 + Bg_{14}$ und Bg_{19} siehe Abb. 1 und 5. Bezüglich der übrigen Bezeichnungen siehe Abb. 2.

die Bodenfläche fallen, von den verschiedenen Böden reflektiert wird. Der Thermosäule wurden bei Quecksilber und bei jedem Boden die nur sichtbare (B_g 19) und nur ultrarote (R_g 7) Strahlen durchlassende Filter vorgeschaltet und die bei diesen Filtern durchgelassenen Energiemengen entsprechenden Galvanometerausschläge gemessen. Da Quecksilber $100^0/_0$ aller sichtbaren und ultraroten Strahlen reflektiert, so haben wir die Galvanometerausschlagwerte der Böden auf die des Quecksilbers gleich 100 bezogen und in dessen Prozent ausgedrückt. In Abbildung 4 ist die von den Böden reflektierte, sichtbare und unsichtbare Strahlenenergie in Prozent der auf die Böden fallenden sichtbaren und ultraroten Strahlenmengen angegeben. In Abbildung 4 sind die Böden in abnehmender Reihenfolge ihres Reflexionsvermögens eingezeichnet. Es ist überaus interessant zu beobachten, daß die totale Reflexion und die Reflexion an sichtbaren Strahlen nicht immer parallel zueinander verlaufen. Vom weißen Meeressand (Ml) bis zum Boden AV verläuft die Abnahme an totaler Reflexion parallel zu der an sichtbaren Strahlen, während

bei den Böden AB, ANG, ASZ, mit Abnahme der totalen Reflexion es zu einem Ansteigen der Reflexion sichtbarer Strahlen kommt.

Nach Abnahme an Reflexion sichtbarer Strahlen müßten die Böden in folgender Reihenfolge geordnet werden: M_1, AO, AS, N4, AV, ASZ, ANG, AB. An sichtbaren Strahlen reflektiert also der Boden AB am wenigsten. Auch bei Messungen mit der Sperr-

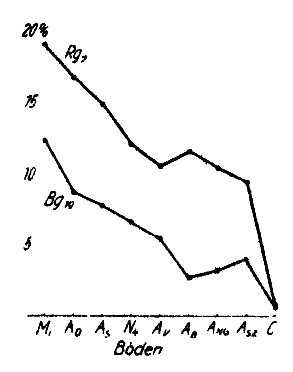


Abb. 4.

Die absolute Spektralzugehörigkeit der reflektierten Strahlenenergie in bezug auf Hg.

schichtzelle konnten die Böden je nach Abnahme der Reflexion an sichtbaren Strahlen nur in obiger Reihenfolge eingeteilt werden. Selbstredend verläuft hierdurch die Reflexion ultraroter Strahlen nicht parallel zur Totalreflexion.

Aus obigen Ergebnissen ist es deutlich ersichtlich, daß die weit verbreitete Annahme, daß Böden je weniger strahlende Energie um so weniger sichtbare Strahlen reflektieren, unrichtig ist und daß das Reflexionsvermögen eines Bodens in der Totalreflexion sichtbarer und unsichtbarer ultraroter Strahlen seinen Ausdruck findet. Bei der Beurteilung des Strahlenenergiehaushaltes der Böden muß immer die Totalreflexion sichtbarer und unsichtbarer Strahlen berücksichtigt werden.

2. Über das Eindringen der strahlenden Energie in den Boden.

Soll das Eindringen strahlender Energie in den Boden geprüft werden, so ist die erste Frage, die beantwortet werden muß, in welchem Maße überhaupt sichtbare Strahlen in den Boden einzudringen vermögen.

Zu diesem Zwecke wurde von einer jeden Bodenprobe eine 8 mm dicke Schicht hergestellt, der Bestrahlung mit der 1500-Watt-Lampe ausgesetzt und mittels der Sperrschichtzelle in Verbindung mit einem überaus stromempfindlichen Galvanometer (1 mm Ausschlag bei 1 m = 7×10^{-10} A.) geprüft, welche Lichtmengen sichtbarer Strahlen diese 8 mm dicke Schicht zu passieren vermochten. Bei allen Böden haben wir überhaupt gar keinen wahrnehmbaren Ausschlag am Galvanometer beobachten können. In Anbetracht der hohen Empfindlichkeit des Galvanometers und der Sperr-

schichtzelle muß behauptet werden, daß der Boden dem Eindringen sichtbarer Strahlen ein solch unüberwindbares Hindernis setzt, daß, abgesehen von den ersten Millimetern, praktisch gar keine sichtbaren Strahlen im Boden eindringen und schon von den obersten Bodenschichten absorbiert werden. Die Grenze, bis zu der das Eindringen sichtbarer Strahlen verfolgt werden kann, wechselt je nach Böden und kann unter Anwendung obiger Methode maximal mit einer Schichtdicke von 8 mm angegeben werden. Bei einer Schichtdicke von 2 und 4 mm haben wir bei den Böden N4, ANG, ASZ, AV, AB ebenfalls keine Galvanometerausschläge mehr wahrgenommen. Bei den Böden AS und AO wurden hingegen sowohl bei 2 als bei 4 mm noch Bruchteile eines Skalenabstandes entsprechende Werte gemessen. Bei 1 mm Schichtdicke wurden bei allen Böden Galvanometerausschläge registriert.

Obige Angaben wurden sodann unter Anwendung der Thermosäule kontrolliert. Hier soll bemerkt werden, daß, da wir bei all unseren Messungen unter den Boden als Sperrfilter ein Filter der Sortc G_g 1 verwendeten, unsere Untersuchungen sich nur auf Strahlen solcher Wellenlängen erstrecken, die von diesem Filter durchgelassen werden und einem Spektralbereich von Strahlen mit 300—3500 Millimikron Wellenlänge entsprechen. Bei den Böden, die bei 2 mm Schichtdicke keine mit der Sperrschichtzelle meßbaren Mengen sichtbarer Strahlen mehr hindurchlassen, und das sind die Böden: N4, ASZ, ANG, AB, AV, wurde unter Anwendung der unten folgenden Versuchsmethodik die Spektralzugehörigkeit der von einer 2 mm dicken Schicht durchgelassenen Strahlenenergie bestimmt. Zwischen Thermosäule und die 2 mm dicke Schicht tragende Filterplatte wurde im Metallkasten, in einem eigens hierzu gebauten Filterhalter ein Filter G_g 1 zwischengeschaltet, der Boden sodann 5 Minuten lang bestrahlt und die Zeit chronometriert, die das Galvanometer (mit der spannungsempfindlichen Wickelung) zur Hinterlegung einer von uns gewählten Anzahl von Skalenabständen brauchte. Nach 5 Minuten Bestrahlung ließ man den Boden 10 Minuten lang auskühlen. Sodann wiederholte sich die Bestrahlung und Kühlung von 5 respektive 10 Minuten solange, bis die chronometrierte Zeit zur Hinterlegung der Galvanometerausschläge sich nicht weiter veränderte. Hierauf wurde der Filter G_g 1, der Reihe nach mit Filter G_g 10, O_g 4, R_g 1, R_g 5, R_g 8, von denen ein jeder dem Ultrarot sich nähernd einen größeren Wellenlängenbezirk sichtbarer Strahlen absorbiert, und zuletzt mit Filter R_g 7 und $R_g 7 + B_g 14$, $R_g 7 + B_g 12$, die nunmehr unsichtbare ultrarote Strahlen durchlassen, ausgetauscht (siehe Abb. 5). Bei dem Vorschalten jedes dieser Filter wurde die Bestrahlung und Kühlung von 5 bzw. 10 Minuten so oft wiederholt, bis die gemessenen Zeitabstände zur Hinterlegung der Skalenabstände nicht konstant blieben. Diese oftmalige Wiederholung der Bestrahlung und Kühlung war bei einem jeden Filter darum notwendig, damit sich die Temperatur der Filter der

Temperatur der ausstrahlenden Oberfläche des Bodens anpassen konnten. Sonst hätte man diese Messungen nicht genau durchführen können.

Der Zeitraum, den das Galvanometer zur Hinterlegung der von uns gewählten Skalenabstände beansprucht, war selbstverständlich je nach Boden verschieden, wurde aber bei ein und demselben

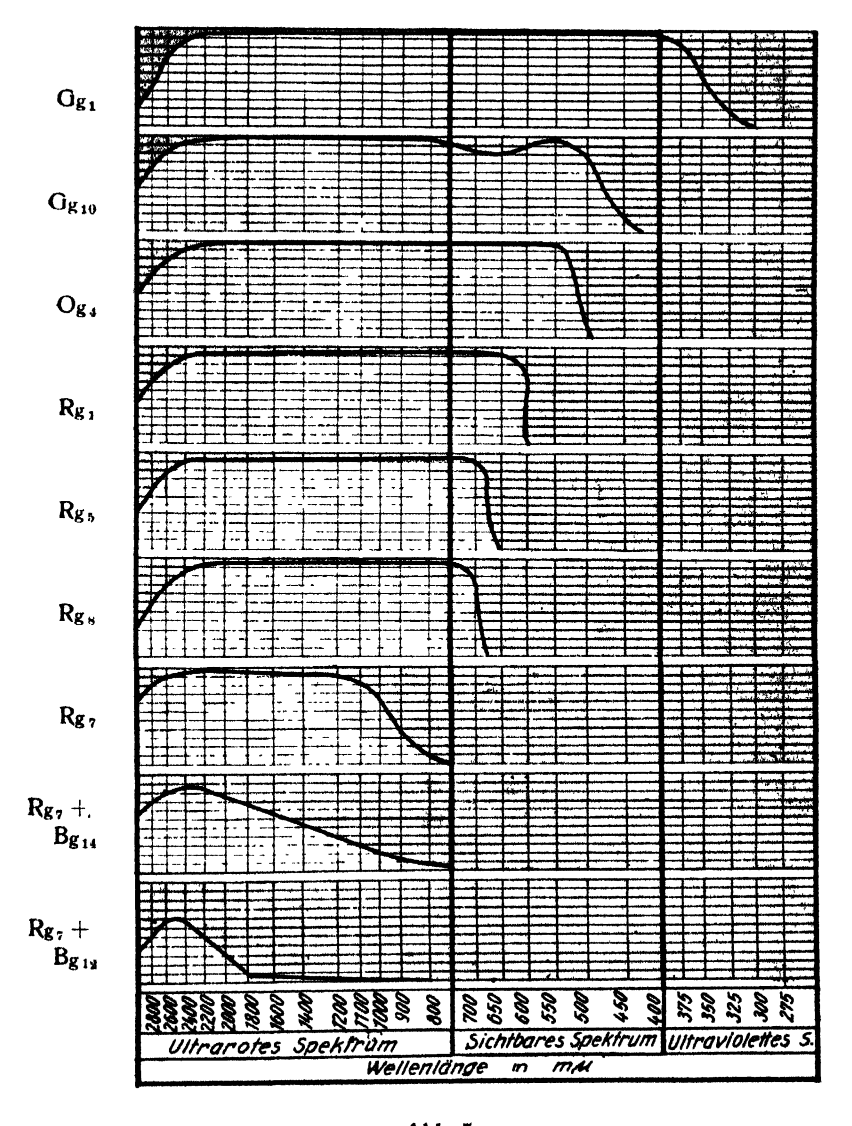


Abb. 5.
Bei den Versuchen zur Bestimmung der Spektralzugehörigkeit, durchgelassenen und reflektierten Strahlenenergie verwendeten Lichtfilter.

Boden durch Wechsel der Filter von $G_g 1$ bis zum Filter $R_g 7$ nicht im geringsten beeinflußt. Nur beim Vorschalten der Filterkombination $R_g 7 + B_g 14$ und $R_g 7 + B_g 12$ war eine längere Zeit zur Hinterlegung der Galvanometerausschläge erforderlich. Hieraus ergibt sich, daß die je Zeiteinheit den Boden verlassende strahlende Energie, $\frac{\text{Skalenabstand}}{\text{Zeit}}$ durch Wechsel der Filter von $G_g 1$ bis $R_g 7$ immer dieselbe war, und so die den Boden verlassenden Strahlen dem Wellenlängenbereich des Filters $R_g 7$ entsprechen, der sichtbare Strahlen zurückhält und nur unsichtbare ultrarote Strahlen hindurchläßt. Der mit Thermosäule meßbaren Energiemengen entsprechend konnten bei diesen Böden mit 2 mm Schichtdicke keine sichtbaren Strahlen entsprechende Energiewerte gemessen werden. Praktisch wurde hierdurch das Ergebnis der Messungen mit der Sperrschichtzelle vollauf bestätigt. Da die Filter $R_g 7 + B_g 14$ und $R_g 7 + B_g 12$ ihrem Absorptionsbereich entsprechend einen Teil der ausstrahlenden Energie zurückhalten und so die pro Zeiteinheit auf die Oberfläche der Thermosäule fallende Energiemengen geringer sind als bei Anwendung des Filters $R_g 7$, haben wir für einen jeden Boden dem Durchlässigkeitsbereich dieser Filter entsprechende Energiemengen so errechnen können, daß wir die bei Filter $G_g 1$ und $R_g 7$ gefundenen Quotienten $\frac{\text{Skalenabstand}}{\text{Zeit}} = 100$ angenommen haben und die der Filter $R_g 7 + B_g 14$, $R_g 7 + B_g 12$ entsprechenden Quotienten in Prozent obiger ausdrückten. Diese Werte wurden in Tabelle 2 wiedergegeben. Die Differenz zwischen den bei Filter $R_g 7$ und $R_g 7 + B_g 12$ gefundenen Werten entspricht jenem Wellenlängenbereich, der

Tabelle 2.

Angaben über die spektrale Energieverteilung der die Böden nach 2 mm Schichtdicke verlassenden Strahlenenergie, dem Wellenlängenbereich der von den Filtein $G_g 1 - R_g 8$, $R_g 7$, $R_g 7 + B_g 14$ und $R_g 7 + B_g 12$ durchgelassenen Strahlen entsprechend.

Böden	Filter			
	$G_g 1 - R_g 8$ %	$R_g 7$ %	$R_g 7 + B_g 14$ %	$R_g 7 + B_g 12$ %
ASZ	100,00	100,00	84,62	73,33
ANG	100,00	100,00	75,71	66,25
N_4	100,00	100,00	70,59	60,82
AB	100,00	100,00	64,00	53,50
AV	100,00	100,00	61,11	51,75
AO	100,00	21,43		
AS	100,00	20,12		

Obige Werte sind in % der von den Böden ausstrahlenden Energiemengen angegeben.

der Differenz des spektralen Durchlässigkeitsgebietes dieser Filter angehört. Unter Anwendung dieser Methode bei den Böden AS und AO bei 2 mm Schichtdicke finden wir, daß die Strahlen,

die diese Böden verlassen, dem Wellenlängenbereich des Filters R_g8 angehören und außer ultrarote auch sichtbare rote Strahlen durch diese Böden hindurchdringen. Daten hierüber finden wir ebenfalls in Tabelle 2. Wenn man diese Werte mit den Werten der übrigen Böden vergleicht, ist es interessant zu beobachten, wie grundverschieden sich diese Böden (AS und AO) den anderen gegenüber verhalten. Bei diesen Böden entspricht fast 80% der den Boden verlassenden Energie dem relativ so engen Spektralgebiet, das sich zwischen dem Wellenlängenbereich des Filters R_g7 und R_g8 befindet. Auch diese Messungen bestätigen die mit der Sperrschichtzelle gemachten Beobachtungen.

Wir müssen, durch diese Beobachtungen veranlaßt, für unsere weiteren Versuche das Bodenmaterial in 2 Gruppen einteilen:

1. in Böden, die ab 2 mm Schichtdicke praktisch überhaupt keine sichtbare Strahlen mehr hindurchlassen (Böden: ASZ, ANG, N4, AB, AV) und

2. in Böden, die bei 2 und 4 mm Schichtdicke, wenn auch in sehr geringem Maße, doch noch meßbare Mengen sichtbarer Strahlen hindurchlassen.

Ich muß hier betonen, daß diese Ergebnisse mit den Beobachtungen der Autoren D. Fehér und M. Frank (7) überhaupt in keinem Widerspruche stehen, denn diese Autoren haben unter Anwendung überaus empfindlicher Lichtmeßgeräte, wie Kalium-Argon und Caesium-Argon Photozelle in Verbindung mit einem Einfadenelektrometer nach Wulf und Selenphotoelement mit einem überaus empfindlichen Spiegelgalvanometer, bei einem nicht so fein durchgesiebten Boden, wie wir es bei unseren Versuchen anwendeten, für die von 1,5 und 10 mm dicke Schichten durchgelassenen sichtbaren Strahlen so minimale Werte erhalten, daß sie eher nur einen rein physikalisch-theoretischen, wissenschaftlichen als praktischen Wert besitzen. Außerdem haben ja auch wir bei 2 Böden unseres Versuchsmaterials sowohl mit Thermosäule als Sperrschichtzelle die Anwesenheit sichtbarer Strahlen bis 4 mm Tiefe beobachtet. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse einiger Messungen dieser Autoren wiedergegeben.

Vom Standpunkt des physikalischen Vorganges der Bodenstrahlung und des Strahlenenergiehaushaltes der Böden ist es überaus wichtig festzustellen, ob bei Schichtdicken, wo keine sichtbaren Strahlen mehr durch den Boden hindurchdringen, durch Änderung der Spektralverteilung der Lichtquelle, durch Aussieben mehr oder minder großer Wellenlängenbezirke sichtbarer Strahlen, der Energiewert der den Boden verlassenden unsichtbaren Strahlen beeinflußt wird. Zu diesem Zwecke wurde unter einen jeden Boden (Böden: ASZ, ANG, N4, AB, AV bei 2 mm und Böden: AO, AS bei 4 mm Schichtdicke) ein Ultrarotfilter R_g7 angebracht, der Boden sodann wie bei früheren Versuchen je 5 Minuten bestrahlt und 10 Minuten lang gekühlt und die zur Hinterlegung einer gewissen Anzahl von Skalenabständen vom Galvanometer gebrauchte Zeit chronometriert. Nun wurden vor

Tabelle 3.
Über das Eindringen sichtbarer Strahlen in den Boden nach Angaben von D. Fehér und M. Frank.

Untersuchungsobjekt: Lehmboden mit 5 % Wassergehalt. Energiequelle: 1000 Watt Osram-Nitralampe. Die Messungen wurden mit Selenelement, Kalium-Argon und Caesium-Argon Photozelle vorgenommen. Es werden angegeben wieviel Energiemengen dem Wellenlängenbereich 6900, 6000, 5500 und 5000 Å entsprechend nach 1, 5 und 10 mm dicken Bodenschicht verbleiben. Die oberen Werte bedeuten erg/sec cm², die unteren Werte bedeuten %.

Schichtdicke in mm	Wellenlängenbezirk			
	6900 Å %	6000 Å %	5500 Å %	5000 Å %
1	25,375 0,01	19,21 0,0085	0,0326 0,000015	0,01750 0,000008
5	19,091 0,0085	13,45 0,006	0,0210 0,000009	0,00985 0,000005
10	11,234 0,005	6,26 0,0028	0,0063 0,0000028	0,00085 0,0000003

der Lampe die Filter $R_g 1$, $R_g 5$ und $R_g 8$ (siehe Abbildung 5) untergebracht. Durch das Aussieben sichtbarer Wellenlängenbezirke an der Lichtquelle haben wir bei allen Böden eine Abnahme der Energiewerte der die Böden verlassenden unsichtbaren, ultraroten Strahlen beobachtet. (Eingehender soll dies in einer folgenden Arbeit behandelt werden.) Dieser Vorgang, daß durch Ausschalten sichtbarer auf die Bodenoberfläche fallender Strahlen eine geringere Menge unsichtbarer ultraroter Strahlen den Boden verlassen, kann nur so erklärt werden, wenn man annimmt, daß die sichtbaren Strahlen von den obersten Bodenschichten bereits völlig absorbiert werden, zum größten Teil in Wärmeenergie umgesetzt werden, hierdurch ein jedes Bodenkörnchen zu einem sekundär durch Wärme strahlenemittierendem Körper verwandelt wird und so von Körnchen zu Körnchen, von Schicht zu Schicht Energie gestrahlt, d. h. weitergeleitet wird. Wenn wir weiterhin daran festhalten, daß bei jedem Boden mit einer Schichtdicke, wo keine sichtbaren Strahlen mehr beobachtet werden konnten, nach Beginn der Bestrahlung es einige Zeit dauert (bei Böden von 2 mm mehr als 10—15 Sekunden), bis das Galvanometer seinen Ruhestand verließ, so muß angenommen werden, daß sowohl die sichtbaren als auch die ultraroten Strahlen der Lichtquelle von den obersten Schichten absorbiert und in Wärmeenergie verwandelt werden und die dann von der Bodenfläche austretenden Strahlen nicht direkt durchgelassene ultrarote (Primärstrahlen) Strahlen sind, sondern durch die Wärme des Bodens erzeugte Sekundärstrahlen.

Wir wollen jetzt noch einiges über den Strahlungsvorgang des Bodens kurz wiederholend zusammenfassen. Bis zu den Schichten, wo die noch praktisch wahrnehmbaren Energiemengen sichtbarer und ultraroter Strahlen direkt eindringen, haben wir

außer diesen Primärstrahlen auch Sekundärstrahlen, d. h. solche Strahlen, die ihre Entstehung der Absorption direkt eindringender Strahlen und der Konvertierung der absorbierten Strahlenenergie in Wärmeenergie verdanken. In Schichten, wo keine Primärstrahlen mehr beobachtet werden, begegnen wir selbstverständlich nunmehr Sekundärstrahlen.

Da das direkte Eindringen sichtbarer und unsichtbarer Strahlen sich bloß auf die obersten Schichten einiger Millimeter Dicke erstreckt, können wir den Boden als einen Sekundärstrahlen emittierenden Körper betrachten. Da wir es beim Boden nicht mit einem homogenen sondern heterogenen porösen Körper mit festen Partikelchen, Luft und Wasser zu tun haben (von denen Wasser bei unseren Versuchen ausgeschaltet wurde), möchte ich bei den Böden nicht von einer Energie- respektive Wärmeleitung, sondern von einer Energie- respektive Wärmestrahlung sprechen, denn zuletzt strahlt ja ein jedes Körnchen seiner Temperatur entsprechend Energie aus, die wieder weitere Körnchen erwärmt, die hierdurch zu Energiestrahlern werden.

Die Beobachtungen der Autoren D. Fehér und M. Frank, daß mit zunehmender Tiefe im Boden Strahlen zunehmender Wellenlänge gefunden werden, werden durch diesen Vorgang der Sekundärstrahlung vollauf gerechtfertigt, denn im Einklang mit dem Dopplerschen Prinzip und Wienschem Verschiebungsgesetz werden mit Abnahme der Temperatur in tieferen Bodenschichten Strahlen immer größerer Wellenlängen von den Bodenkörnchen bzw. Bodenschichten emittiert.

Unter Berücksichtigung des so überaus komplizierten Zusammenhanges zwischen den im Boden eindringenden von diesen absorbierten und emittierten Strahlenenergien, wollen wir dem Strahlenenergiehaushalt der Böden dadurch einen Beitrag leisten, daß wir bei allen uns zur Verfügung stehenden Böden die bei verschiedenen Schichtdicken emittierten Energiemengen experimentell feststellen, sodann den Versuch anstreben, eventuell mathematisch erfaßbare Gesetzmäßigkeit zwischen den nach verschiedener Schichtdicke ausstrahlenden Energiemengen im Zusammenhang mit der Bestrahlungsdauer und zwischen den im Boden eindringenden und je nach Schichtdicke aus dem Boden ausstrahlenden Energiemengen festzustellen.

Unter strengster Berücksichtigung der in der Methodik erwähnten Voraussetzung, daß bei allen unseren Versuchen die gleichen Energiemengen je Zeit- und Flächeneinheit im Boden einzudringen vermögen, haben wir die Böden ASZ, ANG, N4, AB, AV, in Schichtdicken von 1, 2, 4, 8, und die Böden AS und AO in Schichtdicken von 2, 4 und 8 mm jeweils 900 Sekunden lang bestrahlt und unter strengster Kontrolle gleichbleibender Lichtstärke der Lampe genauest die Zeit chronometriert, die das Galvanometer zur Erreichung der jeweiligen Skalenausschläge benötigte. Selbstredend betrug die Temperatur der Versuchsböden am Anfang der Bestrahlung 18^0 C. In Abbildung 6—12 sind je



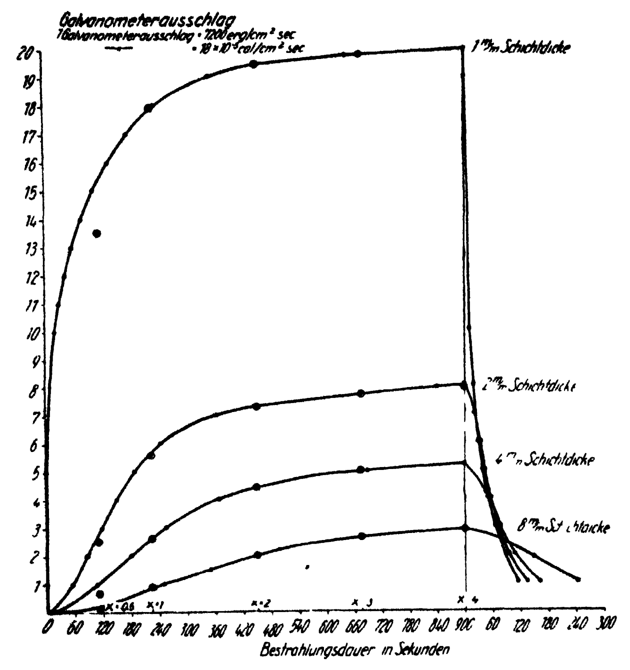


Abb. 6.

Abb. 6—12. Die Einzelkreise entsprechen den empirischen, die Doppelkreise den berechneten Kurven. Nach 900 Sekunden Bestrahlung sind auch die jeweiligen Auskühlungswerte der Böden eingezeichnet. Bezüglich der Werte von x siehe Exponentialgleichung in der Tabelle 4.

Boden: Ang

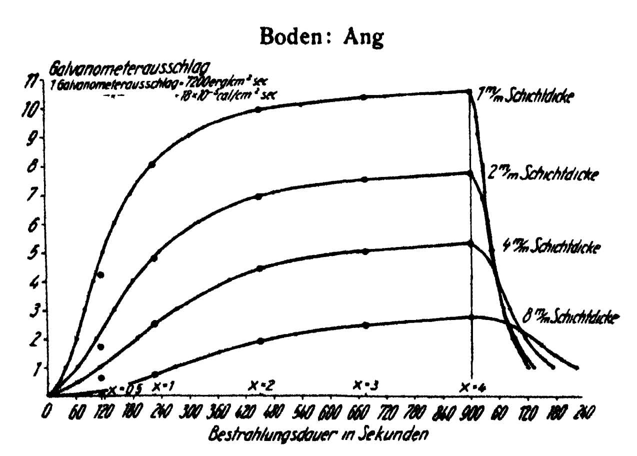


Abb. 7.

nach Böden und Schichtdicken die Energiewerte der nach verschiedenen Zeitabständen von den Böden austretenden Strahlen in Galvanometerausschlägen angegeben. In diesen Abbildungen wurde also in Funktion zur Zeit die vom Boden ausstrahlende Energiemenge je nach Schichtdicke festgehalten. Nach 900

Boden: N/4

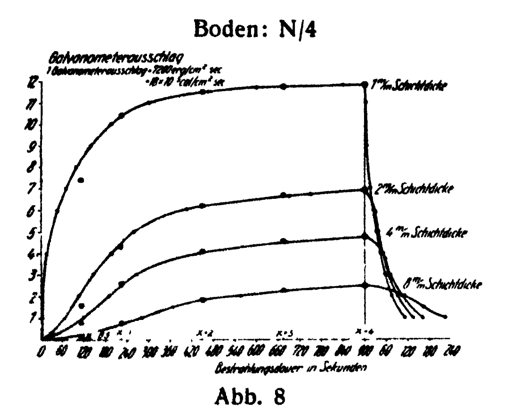


Abb. 8

Boden: A/B



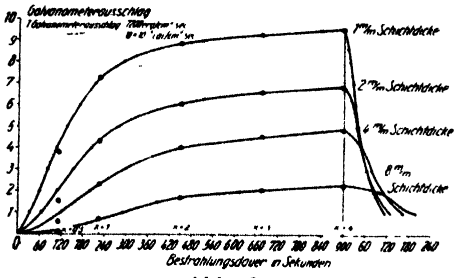


Abb. 9.

Boden: A/V

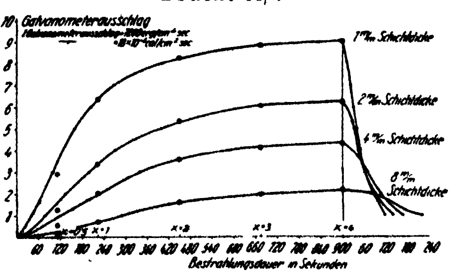


Abb. 10.

Sekunden Bestrahlung sind in den Abbildungen auch die Auskühlungswerte der Böden eingezeichnet. Diese Kurven wurden den bei unseren Versuchen gemessenen Werten entsprechend gezeichnet. Aus diesen Kurven ist es deutlich ersichtlich, daß die je Zeiteinheit aus dem Boden ausstrahlende Energie immer

Boden: A/O

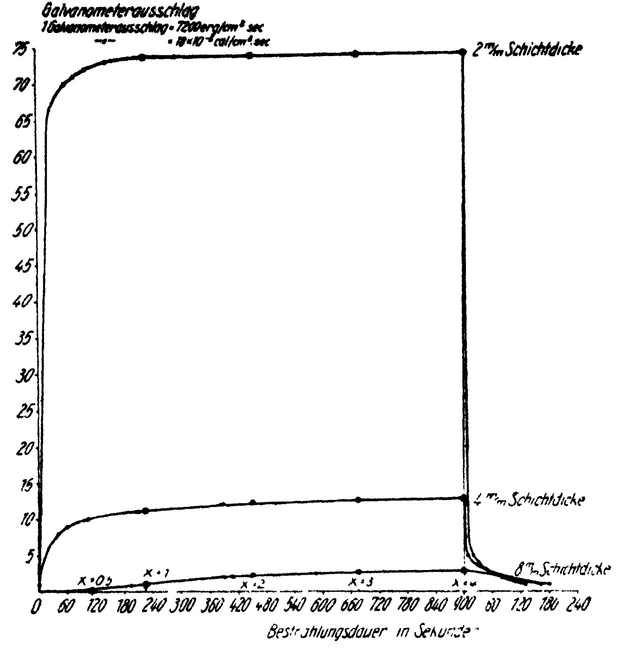


Abb. 11.


Boden: A/S

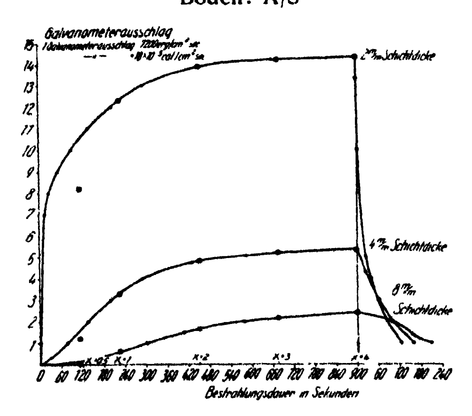


Abb. 12.

langsamer zunimmt und sich nach 900 Sekunden einem stationärem Endwerte nähert, der allerdings theoretisch erst nach unendlich langer Zeit erreicht werden kann. Bei Vorversuchen hat es sich bewiesen, daß eine längere Bestrahlungsdauer als 900 Sekunden für die Beurteilung des Ausstrahlungsvermögens der Böden nicht erforderlich ist.

An einem Boden mit 8 mm Schichtdicke wurde versucht, den funktionellen Zusammenhang zwischen Bestrahlungsdauer und ausstrahlender Energiemenge zu berechnen. Durch folgende Exponentialfunktion hat die von uns gewählte Kurve genau berechnet und somit charakterisiert werden können (11):

$$\frac{1}{y} = \frac{m}{2}\left(a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}\right)$$

Die so gefundenen Werte von y müssen mit 10 multipliziert werden, um sich an unserem Abbildungsmaßstab anzupassen. Für unsere Versuchsergebnisse muß obige Gleichung folgend geändert werden:

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{10} \cdot \frac{m}{2}\left(a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}\right)$$

Diese Exponentialfunktion wurde sodann auf die Werte einer jeden Kurve eines jeden Bodens bei einer jeden Schichtdicke durchgerechnet. Es hat sich hierbei erwiesen, daß alle Kurven durch diese Exponentialfunktion bestimmt werden können. Die Werte der beiden Konstanten m und a ändern sich je nach Boden und Schichtdicke. In Tabelle 4 ist die Fehlerberechnung zwischen den Werten der empirischen und berechneten Kurven wiedergegeben. In den Abbildungen 6—12 entsprechen den berechneten Werten die mit Doppelkreis bezeichneten Punkte.

Wenn wir in Abbildung 6—12 die Werte der empirischen Kurven mit denen der berechneten Kurven vergleichen, so sehen wir, daß es zwischen den $x = 0{,}5$ entsprechenden Werten der empirischen und der berechneten Kurven je nach Böden verschieden große Abweichungen gibt, die mit zunehmender Schichtdicke immer kleiner werden. Abgesehen von den $x = 0{,}5$ entsprechenden Werten stimmen die empirischen Kurven mit den berechneten, wie auch aus Tabelle 4 deutlich ersichtlich, so treffend überein, daß, wenn man die ersten 2 Minuten der Bestrahlung nicht berücksichtigt, man annehmen muß, daß die Zeitabhängigkeit der vom Boden ausstrahlenden Energiemengen durch das obige Exponentialgesetz charakterisiert und eindeutig bestimmt wird. Da die Abweichung bei $x = 0{,}5$ mit zunehmender Schichtdicke bei einem jeden Boden abnimmt, da diese bei den Böden AS und AO, die sichtbare Strahlen hindurchlassen, am größten ist, wäre vielleicht dieses vom Exponentialgesetz abweichende Verhalten der Kurven in der ersten Zeit der Bestrahlung durch die Anwesenheit und den störenden Einfluß der Primärstrahlen zu erklären.

Um die beiden Konstanten m und a näher zu bestimmen, soll die Exponentialfunktion auf stationärem Zustand der Strahlung, nach unendlich langer Zeit, berechnet werden. Da y den ausstrahlenden Energiemengen und x der Dauer der Bestrahlung entspricht, so wird y nach $x = \infty$:

$$\frac{1}{y} = \frac{m}{2}\left(a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}\right)$$

$$y = \left(\frac{2}{a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}}\right) \cdot \frac{1}{m}$$

$$x = \infty$$

$$a^{\frac{1}{\infty}} = a^{0} = 1$$

$$a^{-\frac{1}{\infty}} = a^{-0} = 1$$

daher

$$y = \left(\frac{2}{1+1}\right) \cdot \frac{1}{m}$$

$$y = \frac{1}{m}$$

Nach unendlich langer Zeit entspricht der vom Boden ausstrahlenden Energie y der reziproke Wert der Konstanten „m“. Da a in der Gleichung nach unendlich langer Zeit verschwindet, so ist diese unveränderliche Größe bloß ein Zeitfaktor, der die Steilheit der Kurve, eine mehr oder minder rasche Zunahme der y-Werte pro Zeiteinheit bestimmt. Die Werte von m ändern sich nach Schichtdicke je nach Änderung der y-Werte. Wenn der funktionelle Zusammenhang zwischen den y-Werten und Schichtdicke errechnet werden kann, so wird hierdurch m für eine jede Schichtdicke bestimmt werden können.

Da a die Steilheit der Kurve bestimmt und die maximal nach $x = \infty$ zu erreichende Größe von y je nach Schichtdicke wechselt, so muß auch a für eine jede Schichtdicke berechnet werden.

Der nächste funktionelle Zusammenhang, der einer mathematischen Lösung bedarf, ist die Abhängigkeit der vom Boden ausstrahlenden Energie von der Schichtdicke, somit Bodentiefe. Zu diesem Zwecke wurden in Abbildung 13—15 für einen jeden Boden die je Schichtdicke emittierten Energiemengen (auch in Abhängigkeit mit der Bestrahlungsdauer) abgebildet. Da die Werte der beiden Konstanten m und a sich auch je nach Schichtdicke ändern, wurden in diesen Abbildungen die den verschiedenen Schichtdicken entsprechenden Werte von m und a eingezeichnet, um durch die graphische Darstellung einen Hinweis auf den Zusammenhang zwischen Schichtdicke und den Werten dieser Konstanten zu bekommen.

Wie aus den Abbildungen 13—15 ersichtlich ist, liegen die Werte der vom Boden emittierten Strahlen von a und m in bezug zur Schichtdicke auf keiner Geraden. Diese Werte stehen somit nicht in linearem Verhältnis zur Schichtdicke. Da ja die Werte von m auf keiner Geraden liegen, so können ihre reziproken Werte, die den emittierten Energiemengen entsprechen, auf keiner Hyperbel liegen. Da diese Kurve weder einer logarith-

Tabelle 4.

Fehlerberechnung zwischen den Werten der empirischen und berechneten Kurve.

$$\frac{1}{y} = \frac{m}{2}\left(a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}\right)$$

y ist mit 10 zu multiplizieren.
x = Zeit der Bestrahlung in Sekunden.
y = 7200 Erg/sec cm² = 18 · 10⁻⁵ cal/sec cm²

Boden	Schichtdicke mm	a	m	x	x in Sekunden	Empirische Kurve y	Berechnete Kurve y'	$\Delta' y = y' - y$	$\frac{100\,\Delta y'}{y} = \Delta' y$ %	
				1,0	225	8,00	8,00	Ø	Ø	
				2,0	450	9,85	9,85			
				3,0	675	10,27	10,27			
ANG	1	2,2	0,94	4,0	900	10,45	10,45			
				1,0	225	4,80	4,76	−0,04	−0,83	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}35$ %
				2,0	455	6,90	6,87	−0,03	−0,43	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} =$ Ø
				3,0	675	7,43	7,43	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}46$ %
ANG	2	3,0	1,26	4,0	900	7,65	7,64	−0,01	−0,13	
				1,0	225	2,47	2,50	+0,03	+1,21	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}4$ %
				2,0	450	4,39	4,39	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta y'}{n} = 1{,}21$ %
				3,0	675	4,98	4,98	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}38$ %
ANG	4	4,2	1,8	4,0	900	5,25	5,23	−0,02	−0,38	
				1,0	225	0,74	0,74	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}09$ %
				2,0	450	1,88	1,88	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}37$ %
				3,0	675	2,44	2,44	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} =$ Ø %
ANG	8	9	3,2	4,0	900	2,70	2,71	+0,01	+0,37	
				1,0	225	17,9	17,97	+0,07	+0,39	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}2$ %
				2,0	450	19,44	19,47	+0,03	+0,15	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}27$ %
				3,0	675	19,75	19,75	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}25$ %
A/SZ	1	1,6	0,5	4,0	900	19,90	19,85	−0,05	−0,25	
				1,0	225	5,7	5,56	−0,14	−2,45	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}05$ %
				2,0	450	7,29	7,29	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} =$ Ø
				3,0	675	7,70	7,70	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}14$ %
A/SZ	2	2,5	1,24	4,0	900	8	7,86	−0,14	−1,75	

Tabelle 4. 1. Fortsetzung.

Boden	Schicht-dicke mm	a	m	x	x in Sekunden	Empirische Kurve y	Berechnete Kurve y'	$\Delta' y = y' - y$	$\frac{100 \Delta y'}{y} = \Delta' y\,\%$	
				1,0	225	2,61	2,61	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}19\,\%$
				2,0	450	4,44	4,44	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}77\,\%$
				3,0	675	5,01	5,01	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = Ø$
A/SZ	4	4,0	1,8	4,0	900	5,20	5,24	+0,04	+0,77	
				1,0	225	0,85	0,90	+0,05	+5,88	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}65\,\%$
				2,0	450	2,01	2,01	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 2{,}2\,\%$
				3,0	675	2,64	2,65	+0,01	+0,37	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = Ø$
A/SZ	8	7,0	3,1	4,0	900	2,90	2,91	+0,01	+0,34	
				1,0	225	7,24	7,24	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}52\,\%$
				2,0	450	8,90	8,90	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{y} = 0{,}43\,\%$
				3,0	675	9,25	9,29	+0,04	+0,43	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}66\,\%$
A/B	1	2,2	1,04	4,0	900	9,60	9,44	−0,16	−1,66	
				1,0	225	4,35	4,23	−0,12	−2,75	$\frac{\Sigma \pm \lvert \Delta' y}{n} = 1{,}15\,\%$
				2,0	450	6,09	6,09	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = Ø$
				3,0	675	6,60	5,59	−0,01	−0,15	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}54\,\%$
A/B	2	3,0	1,42	4,0	900	6,90	6,78	−0,12	−1,73	
				1,0	225	2,33	2,33	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}35\,\%$
				2,0	450	4,00	4,07	+0,07	+1,75	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 2{,}2\,\%$
				3,0	675	4,50	4,62	+0,12	+2,66	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}02\,\%$
A/B	4	4,2	1,94	4,0	900	4,90	4,85	−0,05	−1,02	
				1,0	225	0,63	0,75	+0,12	+0,19	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}37\,\%$
				2,0	450	1,70	1,70	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}19\,\%$
				3,0	675	2,08	2,08	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}3\,\%$
A/B	8	6,5	4,0	4,0	900	2,30	2,27	−0,03	−1,30	
				1,0	225	6,38	6,38	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{y} = 0{,}64\,\%$
				2,0	450	8,23	8,37	+0,14	+1,70	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 1{,}70\,\%$
				3,0	675	8,84	8,84	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}87\,\%$
A/V	1	2,5	1,08	4,0	900	9,10	9,02	−0,08	−0,87	

Tabelle 4. 2. Fortsetzung.

Boden	Schichtdicke mm	a	m	x	x in Sekunden	Empirische Kurve y	Berechnete Kurve y'	$\Delta' y = y' - y$	$\frac{100 \Delta y'}{y} = \Delta' y\,\%$	
				1,0	225	3,47	3,65	+0,18	+5,18	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 2{,}65\,\%$
				2,0	450	5,30	5,41	+0,11	+2,03	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 3{,}60\,\%$
				3,0	675	6,07	5,95	−0,12	−1,97	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}69\,\%$
A/V	2	3,2	1,56	4,0	900	6,30	6,21	−0,09	−1,42	
				1,0	225	1,98	2,05	+0,07	+3,53	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 2{,}03\,\%$
				2,0	450	3,58	3,58	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 3{,}53\,\%$
				3,0	675	4,15	4,07	−0,08	−1,90	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 2{,}31\,\%$
A/V	4	4,2	2,2	4,0	900	4,40	4,28	−0,12	−2,72	
				1,0	225	0,70	0,70	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}83\,\%$
				2,0	450	1,57	1,57	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 3{,}66\,\%$
				3,0	675	1,95	2,00	+0,05	+2,56	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = Ø$
A/V	8	8,0	4,0	4,0	900	2,10	2,20	+0,10	+4,76	
				1,0	225	10,40	10,40	Ø	Ø	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}02\,\%$
				2,0	450	11,48	11,49	+0,01	+0,08	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}08\,\%$
				3,0	675	11,72	11,72	Ø	Ø	$\frac{\Sigma - \Delta y}{n} = Ø$
N/4	1	1,7	0,84	4,0	900	11,80	11,80	Ø	Ø	
				1,0	225	4,50	4,29	−0,21	−4,66	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}35\,\%$
				2,0	450	6,18	6,18	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}45\,\%$
				3,0	675	6,65	6,68	+0,03	+0,45	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 2{,}47\,\%$
N/4	2	3,0	1,40	4,0	900	6,90	6,88	−0,02	−0,28	
				1,0	225	2,50	2,59	+0,09	+3,60	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 1{,}66\,\%$
				2,0	450	4,05	4,12	+0,07	+1,72	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 2{,}21\,\%$
				3,0	675	4,52	4,58	+0,06	+1,32	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = Ø$
N/4	4	3,6	2,00	4,0	900	4,75	4,75	Ø	Ø	
				1,0	225	0,73	0,78	+0,05	+6,84	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 2{,}34\,\%$
				2,0	450	1,84	1,84	Ø	Ø	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 4{,}08\,\%$
				3,0	675	2,25	2,28	+0,03	+1,33	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 1{,}2\,\%$
N/4	8	7,0	3,60	4,0	900	2,50	2,47	−0,03	−1,20	

Tabelle 4. 3. Fortsetzung.

Boden	Schichtdicke mm	a	m	x	x in Sekunden	Empirische Kurve y	Berechnete Kurve y'	$\Delta' y = y' - y$	$\frac{100 \Delta y'}{y} = \Delta' y \%$	
				1,0	225	12,30	12,3	⊘	⊘	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}07\,\%$
				2,0	450	13,85	13,89	+0,04	+0,28	
				3,0	675	14,22	14,22	⊘	⊘	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}28\,\%$
A/S	2	1,8	0,69	4,0	900	14,34	14,34	⊘	⊘	
										$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = ⊘$
				1,0	225	3,35	3,33	−0,02	−0,59	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}24\,\%$
				2,0	450	4,81	4,81	⊘	⊘	
				3,0	675	5,18	5,20	+0,02	+0,38	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}38\,\%$
A/S	4	3,0	1,8	4,0	900	5,35	5,35	⊘	⊘	
										$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}59\,\%$
				1,0	225	0,61	0,61	⊘		
				2,0	450	1,67	1,67	⊘		
				3,0	675	2,17	2,17	⊘	⊘	
A/S	8	9,0	3,6	4,0	900	2,41	2,41	⊘		$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}03\,\%$
				1,0	225	73,74	73,74	⊘	⊘	
				2,0	450	73,98	73,98	⊘	⊘	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 0{,}07$
				3,0	675	74,00	74,05	+0,05	+0,06	
A/O	2	1,1	0,14	4,0	900	74,00	74,06	+0,06	+0,08	$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = ⊘$
				1,0	225	11,21	11,21	⊘	⊘	$\frac{\Sigma \pm \Delta' y}{n} = 0{,}98\,\%$
				2,0	450	12,00	12,39	+0,39	+3,25	
				3,0	675	12,62	12,62	⊘	⊘	$\frac{\Sigma + \Delta' y}{n} = 3{,}25\,\%$
A/O	4	1,7	0,78	4,0	900	12,80	12,71	−0,09	−0,70	
										$\frac{\Sigma - \Delta' y}{n} = 0{,}70\,\%$
				1,0	225	1,05	1,05	⊘		
				2,0	450	2,28	2,28	⊘		
				3,0	675	2,74	2,74	⊘	⊘	
A/O	8	6,0	3,08	4,0	900	2,95	2,95	⊘		

mischen noch einer Exponentialfunktion entsprechen, so kann nur noch die klassische Parabel zur Klärung des funktionellen Zusammenhanges dieser Werte mit der Schichtdicke herangezogen werden.

Die Tatsache, daß die von Böden verschiedener Schichtdicke ausstrahlenden Energiemengen in keinem linearen Verhältnis zur Schichtdicke stehen, scheint dem Grundgesetze der stationären Wärmeströmung zu widersprechen. Das Gesetz von Biot-Fourier besagt:

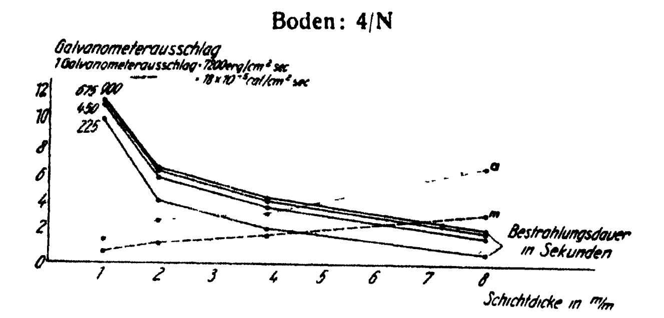
$$Q = \lambda \cdot f \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{l} t;$$

d. h., daß mit zunehmender Bodentiefe die Temperatur und somit die hindurchströmende Wärmemenge linear abnimmt. Wir fanden hingegen, daß die von der Bodenfläche ausstrahlende Energie auf allem eher als auf einer Geraden unterzubringen war. Bei diesen theoretischen Erwägungen kann das Beer-Lambertsche Gesetz

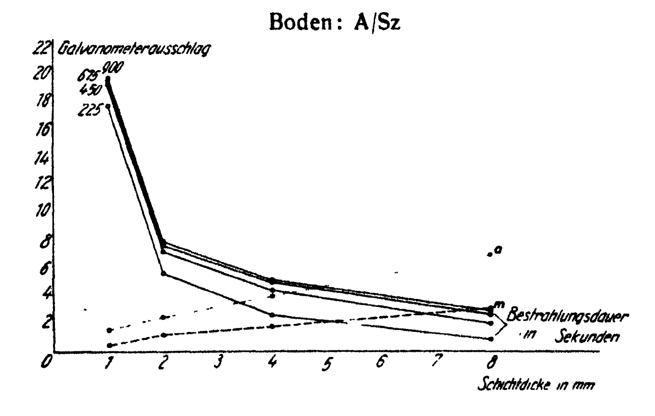
$$Id = Ie^{-kd}$$

nicht berücksichtigt werden, denn das Gesetz bezieht sich auf monochromatisches Licht und könnte, hiervon abgesehen, bei den Böden nur für die obersten Schichten weniger Millimeter, bei Anwesenheit von Primärstrahlen, verwendet werden.

Boden: 4/N



Boden: A/Sz



Boden: Ang

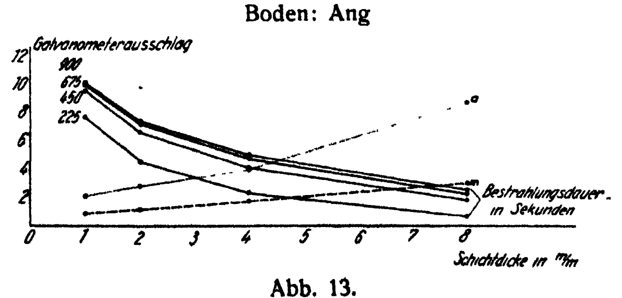
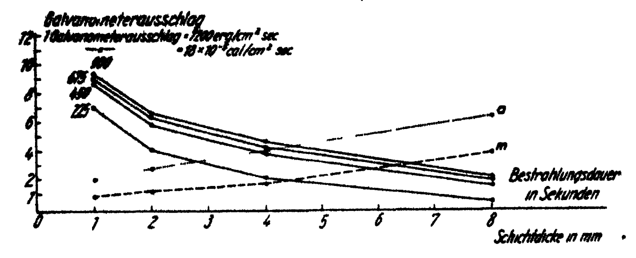
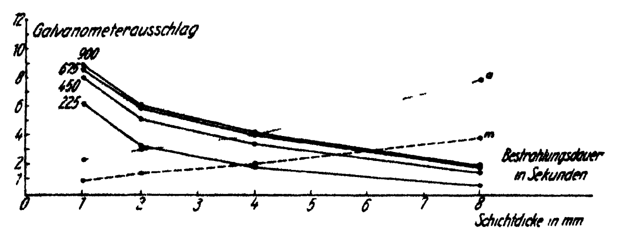


Abb. 13.

Boden: A/B



Boden: A/V



Boden: A/S

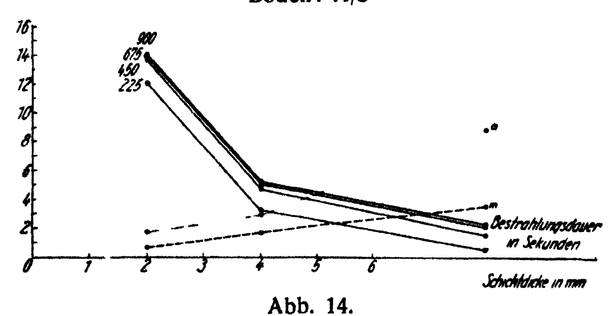


Abb. 14.

Boden: A/O

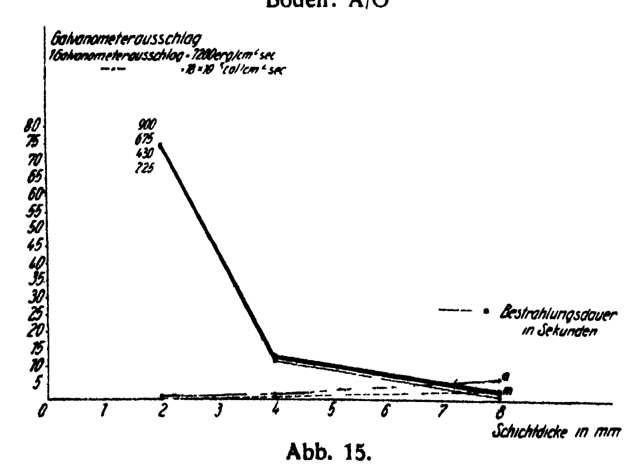


Abb. 15.

. Es bleibt also vorläufig nichts anderes übrig, als diesen scheinbaren Widerspruch zwischen Biot-Fourierschem Gesetz und zwischen den bei unseren Versuchen beobachteten Ergebnissen festzustellen.

Wir haben, um das Strahlungsvermögen der Böden vergleichen zu können, als Wz (8 mm), Wärmestrahlungszahl bei 8 mm Schichtdicke jenen prozentuellen Bruchteil der je Zeit- und Flächeneinheit auf die Bodenoberfläche fallenden Strahlenenergie bezeichnet, der von einer 8 mm dicken Schicht je Zeit- und Flächeneinheit ausgestrahlt wird. In Abbildung 16 sind einige dieser Werte aufgezeichnet. $Wz = \frac{Id}{I} \cdot 100$, der übrigen Böden ist folgender:

Boden AO Wz (8 mm) = 0,242 %,
Boden ASZ Wz (8 mm) = 0,242 %,
Boden AS Wz (8 mm) = 0,200 %.

Der Boden, der am wenigsten der auf seine Oberfläche fallenden Energie in Form von Strahlenenergie bei 8 mm Schichtdicke ausstrahlt, ist der rote Boden AV mit Wz (8 mm) = 0,175 %. Die Böden, die die größte Energiemenge ausstrahlen, sind die Böden ASZ mit Wz (8 mm) = 0,242 % und AO mit Wz (8 mm) = 0,242 %. Als Mittelwert von Wz (8 mm) bei unserem Versuchsmaterial können wir Wz (8 mm) mit 0,211 % angeben.

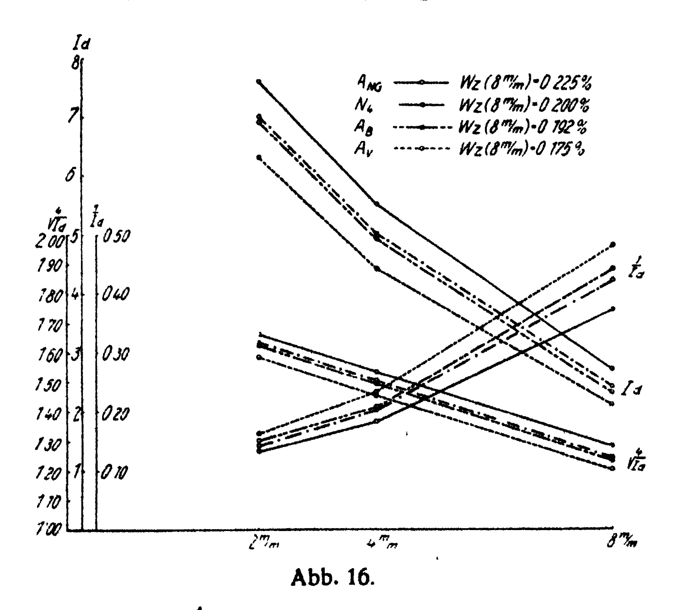


Abb. 16.

Werte von Id, $\frac{1}{Id}$, $\sqrt[4]{Id}$, Wz (8 mm) der Boden ANG, N4, AB, AV Schichtdicken von 2—8 mm.

Wenn wir die Böden, die bei 2 mm Schichtdicke keine sichtbaren Strahlen mehr hindurchlassen, in abnehmender Reihenfolge nach ihren Wz-(8 mm)-Werten einreihen: ASZ, ANG, N 4, AB, AV und diese Werte in dieser Reihenfolge mit den bei der spektralen Energieverteilung dieser Böden gefundenen Werten bei 2 mm Schichtdicke in Tabelle 2 vergleichen, so finden wir, daß, je mehr Energie die Böden an ihrer unteren Fläche ausstrahlen, um so reicher die emittierten Strahlen an langwelligen ultraroten Strahlen sind, die dem Wellenlängenbereiche des Filters R_g 7 + B_g 14 angehören, und je weniger sie an Energie emittieren, desto ärmer sind die emittierten Strahlen an langwelligen ultraroten und desto reicher an kurzwelligen ultraroten Strahlen, die dem Wellenlängenbereich, der zwischen spektralem Durchlässigkeitsbezirk des Filters R_g 7 und R_g 7 + B_g 14 liegt, angehören.

Auf den scheinbaren Widerspruch zwischen den von uns gefundenen Werten emittierter Energie der Böden und dem Grundgesetz der stationären Wärmeströmung und Wärmeleitung zurückkehrend, möchte ich versuchen, durch rein theoretisch spekulative Überlegung dieses Mißverständnis zu beseitigen. Wir haben an unseren Versuchsböden während der Bestrahlung keine Temperaturmessungen vorgenommen, um die Beobachtungen hierdurch nicht nachteilig zu beeinflussen. Gemessen wurden also nur die von den Bodenflächen ausstrahlenden Energiemengen. Das Gesetz von Stefan (12)

$$I = \delta (T_1^4 - T_0^4)$$

besagt, daß die gesamte Lichtintensität (Lichtenergie) der Strahlung eines Körpers proportional der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur ist [siehe Lax und Pirani (13)]. Boltzmann hat dann auf theoretischem Wege abgeleitet, daß dieses Gesetz sich nur auf den absolut schwarzen Körper bezieht. Das Stefan-Boltzmannsche Gesetz besagt, daß die integrale Strahlung des absolut schwarzen Körpers proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur des Körpers ist (12).

$$S_T = \int_0^\infty S\lambda \, d\lambda = \sigma T^4$$

Obgleich dieses Gesetz sich also nur auf den absolut schwarzen Körper bezieht, hat die Feststellung, daß die Strahlung eines Körpers mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur wächst, auch schon in der technischen Praxis eine Anwendung gefunden. Bei den Strahlungspyrometern für Temperaturmessungen wird durch die Messung der von einem Körper ausstrahlenden Energiemengen die Temperatur des strahlenden Körpers berechnet.

Unter Berücksichtigung obiger Umstände muß angenommen werden, daß die von der Bodenfläche ausstrahlende Energie proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur der strahlenden Oberfläche ist. Wenn das Temperaturgefälle im Boden sich linear zur Schichtdicke verhält, so müssen die Werte

der vierten Wurzel der emittierten Energiemengen sich ebenfalls linear zur Schichtdicke verhalten und graphisch dargestellt auf einer Geraden liegen. Wir haben bei einigen Böden die Werte der vierten Wurzel der nach verschiedenen Tiefen ausstrahlenden Energiemengen berechnet und in Abb. 16 graphisch dargestellt. In Abbildung 16 sind für die Böden ANG, N4, AB, AV die je Schichtdicke emittierten Strahlenenergiemengen Id, deren reziproker Wert $\frac{1}{Id} = m$ und die Werte von $\sqrt[4]{Id}$ aufgezeichnet. (Id sind den Galvanometerausschlägen entsprechend angegeben.) Die Werte von $\sqrt[4]{Id}$ liegen bei all diesen Böden auf einer Geraden. Dies wurde auch rechnerisch ermittelt.

Wenn also die Werte $\sqrt[4]{Id}$ der absoluten Temperatur der Bodenschichten, mit einem Koeffizienten λ multipliziert, entsprechen, so haben wir, da diese Werte den Schichtdicken entsprechend auf einer Geraden liegen, den Widerspruch zwischen dem Gesetze der stationären Wärmeströmung und unseren Ergebnissen zum Teil beseitigt, denn so haben auch wir ein lineares Verhältnis zwischen Temperaturgefälle und Bodentiefe beobachtet. So hätte man eigentlich einen Weg gefunden, um durch Messung der von den Böden emittierten Strahlenenergien die Temperatur der ausstrahlenden Bodenschichten zu bestimmen (oder auch umgekehrt). Im Besitze von Messungen der Temperatur zweier Schichten mit bekannter Tiefe (Schichtdicke) und der Energie, die von einer dieser Schichten ausgestrahlt wird, hätte man aus der Gleichung $Id = T\,\lambda$ den Koeffizient für diesen Boden bestimmen können. Da die Temperaturmessungen die Änderung der Temperatur je nach Schichtdicke ergeben, hätte man die von einer jeden Schicht emittierte Strahlenenergiemenge so berechnen können, daß man die vierte Potenz der absoluten Temperatur der betreffenden Bodenschichten ausrechnet und mit λ multipliziert.

In einer der nächsten Arbeiten soll hierauf näher eingegangen werden, denn wir wollen die Versuche auf dickere Bodenschichten bei gleichzeitiger Temperaturmessung ausdehnen.

Zusammenfassung.

Die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen sich folgenderweise kurz zusammenfassen:

a) Reflexion der strahlenden Energie.

1. Unter Reflexionsquotient R der Böden in absolut trockenem Zustande verstehen wir jenen prozentuellen Bruchteil der je Zeiteinheit auf die Flächeneinheit der Oberfläche fallenden Strahlenenergie, die von dieser Fläche reflektiert wird.

2. Durch Versuche wurde bestätigt, daß das Reflexionsvermögen der Böden durch die Schichtdicke der bestrahlten Böden nicht beeinflußt wird.

3. Durch Änderung der Leuchtstärke der Energiequelle werden die dem Reflexionsquotient entsprechenden Werte nicht im geringsten beeinflußt.

4. Da der Reflexionsquotient anzeigt, ein wievielter Teil der auf die Böden fallenden Strahlenenergie reflektiert wird, so ist R für einen jeden Boden charakteristisch und unveränderlich.

5. Da die von den Böden reflektierten Energiemengen erst nach einiger Zeit der Bestrahlung stationäre Werte annehmen, so wird die bei stationärem Zustand auftretende Totalreflexion durch direkte Reflektierung sichtbarer und unsichtbarer Strahlen und durch die Ausstrahlung von sekundären Wärmestrahlen der Bodenfläche bedingt.

6. Da vom Standpunkt des Strahlenenergiehaushaltes der Böden nur die Totalreflexion maßgebend ist, beziehen sich unsere Werte von R immer nur auf den stationären Zustand der Reflexion.

7. Je nach Farbe der Böden nimmt die Reflexion der Böden in folgender Reihenfolge ab: weiß, gelb, rot, braun, grauschwarz.

8. Bei der Bestimmung der relativen Spektralzugehörigkeit der reflektierten Strahlen ergibt sich die interessante Tatsache, daß die von allen Böden reflektierte Strahlenenergie relativ reicher an ultraroten und ärmer an sichtbaren Strahlen ist als die auf die Böden fallende Strahlenenergie selbst.

9. Durch die Bestimmung der absoluten Spektralzugehörigkeit reflektierter Strahlen wird es ersichtlich, daß die weitverbreitete Annahme, daß Böden, je weniger sichtbare Strahlen, desto weniger Gesamtstrahlenenergie refektieren, unrichtig ist.

10. Infolgedessen wird das Reflexionsvermögen eines Bodens durch die Totalreflexion sichtbarer und unsichtbarer Strahlen charakterisiert.

b) Eindringen der strahlenden Energie in den Boden.

1. Durch unsere Versuche wurde unter Bestimmung der spektralen Energieverteilung der die Böden verlassenden Strahlen einwandfrei festgestellt, daß der Boden dem direkten Eindringen sichtbarer und ultraroter Strahlen ein solch unüberwindbares Hindernis setzt, daß die direkt eindringenden Strahlen bereits von den obersten Bodenschichten weniger Millimeter absorbiert werden und zum größten Teil in Wärmeenergie und in sekundäre Wärmestrahlen verwandelt werden.

2. Bei allen Böden haben wir bei einer Schichtdicke von 8 mm keine meßbaren Mengen sichtbarer Strahlen mehr beobachten können.

3. Der Strahlungsvorgang des Bodens läßt sich folgenderweise charakterisieren: von den obersten Bodenschichten werden bereits die direkt eindringenden sichtbaren und unsichtbaren „Primärstrahlen“ absorbiert und größtenteils in Wärmeenergie verwandelt. Infolgedessen wird durch Wärme ein jedes Boden-

körnchen zu einem sekundäre Strahlen emittierenden Körper verwandelt. So wird von Körnchen zu Körnchen, von Schicht zu Schicht Energie weitergestrahlt. Diese sekundär von den Körnchen emittierten Strahlen wollen wir als „Sekundärstrahlen der Böden" bezeichnen.

4. Da das direkte Eindringen sichtbarer und unsichtbarer Strahlen sich auf die oberste Bodenschicht weniger Millimeter erstreckt, können wir den Boden als einen sekundäre Strahlen emittierenden Körper betrachten.

5. Da wir es beim Boden nicht mit einem homogenen, sondern einen heterogenen porösen Körper mit festen Partikelchen, Wasser und Luft zu tun haben, wäre es angezeigt, bei den Böden nicht von einer Energie- respektive Wärmeleitung, sondern von einer Energie- bzw. Wärmestrahlung zu sprechen.

6. Die Zeitabhängigkeit der von den Böden verschiedener Schichtdicke ausstrahlenden Energiemengen, je nach Bestrahlungsdauer, wird durch das folgende Exponentialgesetz bestimmt:

$$\frac{1}{y} = \frac{m}{2}\left(a^{\frac{1}{x}} + a^{-\frac{1}{x}}\right)$$

7. Die Werte der beiden Konstanten m und a ändern sich je nach Boden und je nach Schichtdicke.

8. Bei stationärem Zustand der Strahlung, nach theoretisch unendlich langer Zeit, entsprechen den vom Boden ausstrahlenden Energiemengen die reziproken Werte der unveränderlichen Größe von m.

9. Wir haben, um das Strahlungsvermögen der Böden vergleichen zu können, als Wz (8 mm) = „Wärmestrahlungszahl" bei 8 mm Schichtdicke, nach 900 Sekunden Bestrahlung absolut trockener Böden, jenen prozentuellen Bruchteil der je Zeit- und Flächeneinheit auf die Bodenfläche fallenden Strahlenenergie bezeichnet, die von einer 8 mm dicken Schicht je Zeit- und Flächeneinheit ausgestrahlt wird.

10. Die Werte von Wz (8 mm) werden durch Änderung der Leuchtstärke der Lichtquelle nicht beeinflußt.

11. Der scheinbare Widerspruch zwischen dem Grundgesetz der stationären Wärmeströmung und den bei unseren Versuchen gefundenen Werten der vom Boden ausstrahlenden Energiemengen wurde unter Berücksichtigung des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes zum größten Teil geklärt.

Schrifttum.

1. Knoch, K.: Klimafaktoren u. Übersicht d. Klimazonen d. Erde. Handbuch der Bodenlehre, E. Blanck. J. Springer, Berlin, 2, 1929.
2. Fesefeldt, H.: D. physikalisch wirksamen Kräfte u. ihre Gesetzmäßigkeiten. Ebenda, 1, 1929.
3. Littrow, A.: Sitzungsbericht. Akad. Wiss., Wien, 71, 1872, II, 99—151.
4. Haberlandt, F.: Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiet des Pflanzenbaues. Mitt. Landw. Lab. Hochsch., Bodenkultur, Wien, I, 1875, 33—63.

5. Pott, E.: Landw. Versuchsstat., Berlin, 20, 1877, 272—355.
6. Wagner, F.: Wollnys Forschungen a. d. Gebiete der Agrikulturphysik, 6, 1883, I.
7. Fehér, D., u. M. Frank: Untersuchungen über die Lichtökologie der Bodenalgen. Archiv für Mikrobiologie, 7, 1936, Heft 1.
8. Goll, Gy: Beiträge zur Kenntnis der Absorption von Sonnenstrahlen durch Böden. Mezögazdasagi kutatasok, IX, 1936, Heft 11—12.
9. Nuernbergk, K.: Abderhaldens Handbuch der biol. Arbeitsmethoden, Abt. XI, Teil 14.
10. Sewig, R.: Objektive Photometrie. J. Springer, Berlin, 1935.
11. Janisch, E.: Das Exponentialgesetz als Grundlage einer vergleichenden Biologie. J. Springer, Berlin, 1927.
12. Pincussen, L.: Photobiologie. G. Thieme, Leipzig, 1930.
13. Lax, E., u. M. Pirani: Handbuch der Physik. J. Springer, Berlin, 1928.

[288]

Die polarographische Bestimmung der Alkalien und des Kalziums in den Elektroultrafiltraten basenarmer Waldböden.

Von **L. Mainzhausen.**

Aus dem Bodenkundlichen Institut der Forstlichen Hochschule Eberswalde.

Eingegangen: 25. März 1939.

Daß durch jahrelange Streunutzung das Pflanzenwachstum sehr beeinflußt wird, ist seit langem bekannt. Die stark herabgesetzte Leistungsfähigkeit der Standorte tritt auch schon in der Bodenflora deutlich zutage. Selbst auf Flächen, die nach langer Streunutzung 50 Jahre geschont wurden, findet sich an Stelle der früher vorhandenen Süßgrasdecke nur Hypnum ein. Es ist naheliegend, daß der Grund hierfür in einer allmählichen Verarmung der Böden an den den Pflanzen leicht zugänglichen Nährstoffen zu suchen ist. Durch zahlreiche im hiesigen Institut ausgeführte chemische Analysen von HCl-Auszügen war jedoch eine Basenverminderung nicht nachzuweisen. Wittich (1) versuchte nun mit der Elektro-Ultrafiltrationsmethode, die leicht löslichen und sorptiv gebundenen Ionen unserer sandigen Waldböden zu bestimmen und fand hier den Weg, die Unterschiede sowohl im Basen- als auch im Phosphorsäuregehalt von streugerechten und nicht streugerechten Böden festzustellen. Diese Unterschiede sind recht erheblich. Zu den Untersuchungen war es erforderlich, u. a. sehr geringe Mengen Kalzium, Kalium und Natrium serienmäßig zu bestimmen. Da die Untersuchungen in großer Anzahl ausgeführt werden sollten und die allgemein üblichen Mikroanalysenmethoden trotz der guten Ausarbeitung meist noch viel Zeit und sehr sorfältiges Arbeiten beanspruchen, kam es darauf an, eine möglichst schnelle und einfache Methode zu finden. Ich versuchte daher, ob die im Schrifttum beschriebenen Kalzium- und Kalium- + Natriumbestimmungen mit dem nach den Arbeiten von J. Heyrovsky und M. Shikata (2) gebauten Polarographen der Firma Leybold, Köln, für bodenkundliche Zwecke brauchbar sind.

Der Apparat ermöglicht durch photographisch registrierte Stromspannungskurven eine qualitative Analyse echter Lösungen von Stoffen, die elektrolytisch reduzierbar sind. Er gestattet, auf einfache Weise mehrere Kationen gleichzeitig nebeneinander zu bestimmen, z. B. Kupfer, Zink, Mangan oder Barium, Strontium, Kalzium. Die Spannungskurve hat dann treppenförmiges Aussehen.

Es erübrigt sich, auf die theoretische Grundlage, sowie auf die Versuchsanordnung und das Meßverfahren näher einzugehen, da sie im Schrifttum ausführlich beschrieben sind, z. B. von J. Heyrovsky (3) in seiner Abhandlung: „Der Polarograph" und in dem 1937 erschienenen Heft: „Chemische Analysen mit dem Polarographen" von H. Hohn (4). Am Ende dieses Buches findet sich eine ausführliche Schrifttumsangabe über polarographisches Arbeiten.

Zum allgemeinen Verständnis der angewandten Arbeitsweise sei folgender kurzer Überblick gegeben.

Die qualitative Auswertbarkeit der Spannungskurve beruht auf der Tatsache, daß die elektrolytische Zersetzung eines Stoffes erst bei einem ganz bestimmten Kathodenpotential, das für jedes Metall eine charakteristische Konstante ist, beginnt.

Die Zersetzungsspannung, die durch die Lage des Knickpunktes der Stromspannungskurve gekennzeichnet ist, ist also ein Test für den Stoff selbst. Die Stromstärke bei der Zersetzungsspannung, die aus dem Anstieg der Kurve ersichtlich ist, ist ein Maß für die Konzentration. Doch ist die quantitative Auswertung erst durch Einführung der Quecksilbertropfelektrode nach Kučera möglich, die die sonst bei der Elektrolyse auftretende Konzentrationsänderung durch dauernde Erneuerung der Oberfläche und Wegführung der Zersetzungsprodukte verhindert. Auch die anodische Polarisation, die die Stromstärke wesentlich beeinflussen würde, wird durch diese Anordnung ausgeschaltet, da die Anode im Verhältnis zur Kathode, die von einem winzigen Tröpfchen gebildet wird, sehr groß ist.

Die Methode schien für den gewünschten Zweck besonders geeignet, da die Bestimmungen nur wenig Zeit in Anspruch nehmen und nur sehr geringe Mengen zur Untersuchung erforderlich sind. Die Empfindlichkeit ist im allgemeinen so groß, daß nach J. Heyrovsky (3) noch Kurven von Stoffen in Verdünnung von 1 Grammäquivalent auf 10^5—10^6 Liter auswertbar sind. Außerdem erwiesen sich die im hiesigen Institut zu untersuchenden Filtrate zur polarographischen Analyse besonders geeignet, da sie nach der Titration mit n/100 HCl an anorganischen Stoffen nur $CaCl_2$, KCl, NaCl und NH_4Cl in neutraler wäßriger Lösung enthalten, so daß außer der Entfernung des Ammoniaks keine vorherige Trennung notwendig ist. (Eisen, Aluminium, Mangan und Magnesium konnten in den Elektroultrafiltraten der bisher untersuchten sandigen Waldböden nicht festgestellt werden. Magnesium, das sich mit den anderen leichtlöslichen und sorptiv gebundenen Ionen der Böden abscheidet, wird nachweislich von den bei uns angewandten Kollodiumfiltern nicht durchgelassen.)

Bei der Ausarbeitung der Arbeitsvorschrift richtete ich mich im wesentlichen nach den Arbeiten von V. Majer (5) und nach G. Kimura (6).

Kalium und Natrium werden als Summe bestimmt. Ihre polarographische Identifizierung nebeneinander ist unmöglich, da ihre Abscheidungspotentiale (nach J. Heyrovsky K = 1,883 und Na = 1,860) zu nahe beieinander liegen. Es resultiert eine Welle, deren Höhe gleich der Summe der beiden Wellenhöhen ist. Durch die verschiedene Ionenwanderungsgeschwindigkeit ist es bedingt, daß die Wellenhöhen von Kalium und Natrium bei Normallösungen nicht gleich groß sind. Eine Ungenauigkeit ist daher bei der Auswertung von K + Na-Kurven unvermeidlich. Im Verhältnis zu den Fehlern, die bei der Bodenanalyse trotz sorgfältigster Probeentnahme durch Ungleichmäßigkeit des Materials bedingt sind, ist sie jedoch gering. Zudem ist bei den im Augenblick im Institut zu untersuchenden Sandböden der K- und Na-Gehalt so unwesentlich verschieden (bei 30 Analysen des HCl-Auszuges resultierte als Mittelwert für $K_2O = 0{,}04\,\%$ und für $Na_2O = 0{,}05\,\%$), daß auf die von K. Abresch beschriebene Trennung durch Ausfällen des Kaliums mit Perchlorsäure oder Platinchlorid verzichtet wurde. Ich nahm vielmehr außer den Eichkurven für n/100 und n/1000 KCl- und NaCl-Lösungen noch solche auf, bei denen die n/100- und n/1000-Lösung zu 50 % aus NaCl-Lösung bestand. Die für die Eichkurven registrierten Stromspannungskurven, sowie die Eichdiagramme selbst wurden mit der angewandten Methode für die Kalium- und Natriumbestimmung einwandfrei, wie Abbildung 1 und 2 zeigen mögen. Für die gleichzeitige Bestimmung des Kalziums war es aber erforderlich, den von Majer angegebenen Zusatz von Phosphorsäure fortzulassen, was bei dem Fehlen von Eisen in den Elektroultrafiltraten auch ohne weiteres möglich ist.

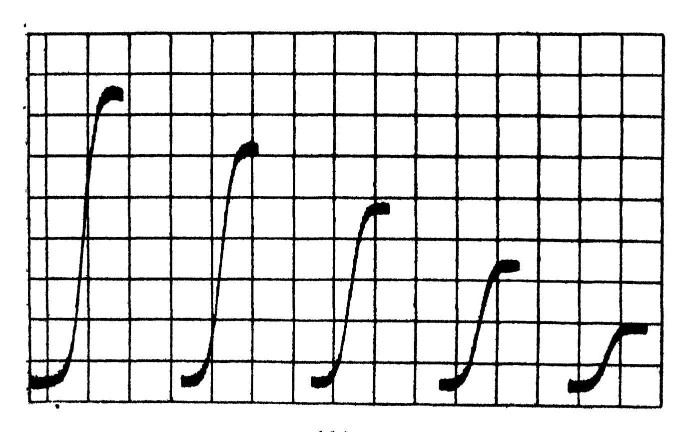


Abb. 1.
Stromspannungskurven von KCl-Lösungen.

In einem Gesamtvolumen von 15 ccm sind absteigend 5, 4, 3, 2 und 1 ccm n/50 KCl-Lösung enthalten. Außerdem wurde jeder Probe 1 ccm n $(CH_3)_4NOH$ zugesetzt.

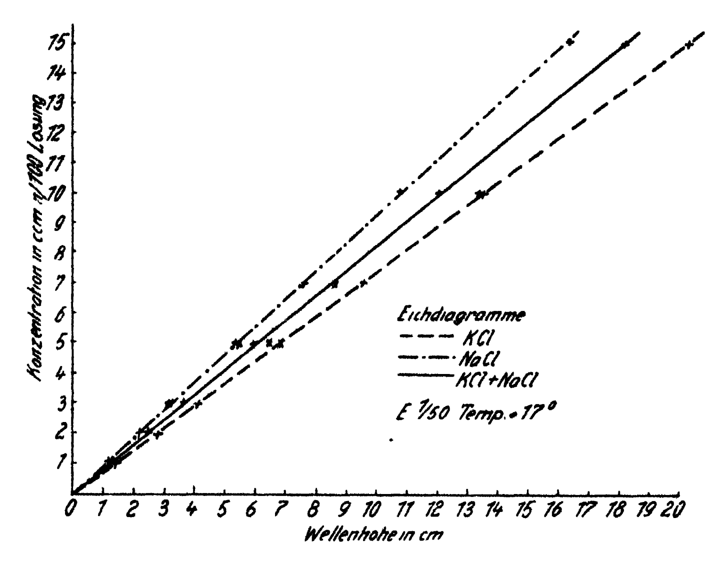


Abb. 2.
Eichdiagramme für KCl, NaCl und KCl + NaCl.

Da G. Kimura in seiner Arbeitsvorschrift für die polarographische Bestimmung des Kalziums auch Tetramethylammoniumhydroxyd als Grundlösung angibt, versuchte ich, Kalzium unter den genau gleichen Bedingungen wie Kalium und Natrium zu bestimmen und die Analyse zu einer polarographischen Aufnahme zu vereinigen. Ich erhielt auch hier ein einwandfreies Eichdiagramm,

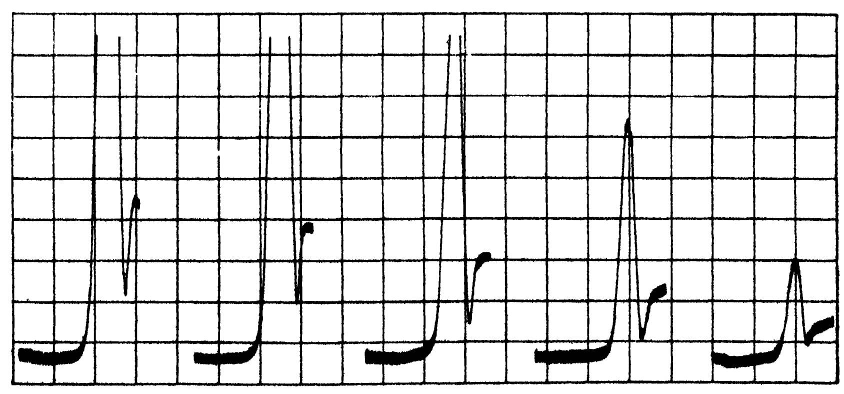


Abb. 3.
Stromspannungskurven von $CaCl_2$-Lösungen.

wenn auch die Auswertung der Spannungskurve durch das dem Kalzium eigene große Maximum (Abb. 3) etwas erschwert ist. In einem Gesamtvolumen von 15 ccm sind absteigend 5, 4, 3, 2 und 1 ccm n/100 $CaCl_2$ enthalten. Außerdem wurde jeder Probe 1 ccm n $(CH_3)_4NOH$ zugesetzt.

Die Kalziumbestimmungen sind nur in verdünnten Lösungen möglich: bei größerer Konzentration fällt nach Zugabe von Tetramethylammoniumhydroxyd Kalziumhydroxyd aus. Ist die zu polarographierende Lösung in bezug auf Tetramethylammoniumhydroxyd 0,069 n, wie bei der von mir angewandten Arbeitsmethode, so ist für die polarographische Aufnahme die obere Konzentrationsgrenze des Kalziums 6,7 M—Ä im Liter.

Zur Untersuchung der Elektroultrafiltrate werden die die Kationen enthaltenen Lösungen geteilt. Eine Hälfte wird zur kolorimetrischen Bestimmung des Ammoniaks mit Nesslerschem Reagens benutzt.

Die Ammonsalze polarographisch zu bestimmen ist nicht zu empfehlen, da das Abscheidungspotential nahe dem des Kalium- und Natriumpotentials liegt und sich die Welle noch zu der K + Na-Kurve addieren würde.

Die andere Hälfte der Lösung wird mit n/100 HCl titriert (Indikator: Methylrot) und dann eingedampft, da bei den basenarmen Sanden die Filtrate in der Regel zu wenig Kationen enthalten, um so zur polarographischen Untersuchung verwendet zu werden. Sollte der Indikator, der an sich die polarographische Aufnahme nicht stört, beim Eindampfen ausflocken, so ist anzuraten, die Lösung zu filtrieren, da von dem voluminösen Niederschlag Kalzium-, Kalium- und Natriumchlorid adsorbiert werden können. Das Filter muß selbsverständlich mit wenig Wasser sorgfältigst ausgewaschen werden. Ist Ammoniumchlorid in den Lösungen enthalten, so müssen sie bis zur Trockene auf dem

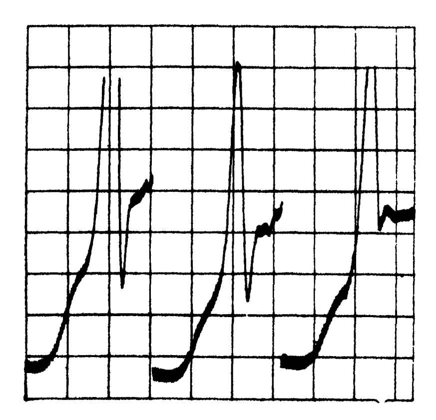


Abb. 4.

Wasserbad eingedampft und das Ammoniumchlorid sehr vorsichtig abgeraucht werden. Hierbei darf die Platinschale auf keinen Fall bis zur Rotglut erhitzt werden, da Kalium- und Natriumchlorid leicht flüchtig sind. Der Rückstand wird dann mit möglichst wenig HCl (2—3 Tropfen) befeuchtet und mit Wasser aufgenommen. Nach dem Filtrieren wird die Lösung mit n-Tetramethylammoniumhydroxyd neutralisiert (Indikator: Phenolphthalein) und auf 15 ccm verdünnt. Bei größeren Kalziumchloridkonzentrationen, die schon aus den Titrationszahlen ersichtlich sind, gibt man mehr Wasser zu und nimmt nur 15 ccm zur Analyse. Nach Zugabe von 1 ccm n-Tetramethylammoniumhydroxydlösung macht man die polarographische Aufnahme. Als Beispiel zeigt Abbildung 4 die Stromspannungskurven von 3 Elektroultrafiltraten eines sandigen Waldbodens, abgenommen nach 10, 20 und 30 Minuten.

Im allgemeinen stimmen die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse gut mit den Zahlen überein, die man bei der Titration mit n/100 HCl nach der Elektoultrafiltration erhält. Dafür folgende Beispiele:

ccm n/100 KCl+NaCl	ccm n/100 $CaCl_2$	ccm n/100 NH_3	Summe	titriert mit n/100 HCl
3,3	5,4	5,1	13,8	13,3
1,4	1,7	—	3,1	3,0
0,7	1,1	—	1,8	1,6
1,0	0,5	—	1,5	1,3
3,0	9,0	Spuren	12,0	12,4
1,4	6,2	—	7,6	7,8
1,2	4,2	—	5,4	5,2
0,6	6,0	—	6,6	7,0
6,8	10,4	—	17,2	18,4
2,6	5,6	—	8,2	8,0
1,6	6,2	—	7,8	8,4
2,4	3,2	Spuren	5,6	6,0
1,0	1,4	—	2,4	2,4
0,5	1,1	—	1,6	1,4
0,4	1,2	—	1,6	1,4
2,4	5,8	—	8,2	6,0
2,6	4,0	Spuren	6,6	6,0
0,7	2,0	—	2,7	2,8
0,5	1,0	—	1,5	1,8
0,2	1,0	—	1,2	1,8
1,7	1,4	1,1	4,2	4,4
0,4	1,6	—	2 0	2,0
0,2	0,8	—	1,0	1,2
0,2	1,3	—	1,5	1,3

Vereinzelt ist allerdings bei den Filtraten, die nach den ersten 10 Minuten bei der Elektroultrafiltration abgenommen werden, der Titrationswert bedeutend höher als die Summe der bestimmten Basen. Aus welchem Grunde, ist bisher noch nicht geklärt; ich nehme an, daß es sich um organische Basen handelt, die bei der Titration erfaßt werden. Als Beispiel folgende Ergebnisse:

ccm n/100 KCl+NaCl	ccm n/100 $CaCl_2$	ccm n/100 NH_3	Summe	titriert mit n/100 HCl
2,0	6,0	4,9	12,9	17,1
2,0	11,8	Spuren	13,8	17,4
2,9	2,6	Spuren	5,5	8,6
3,0	8,0	—	11,0	27,8
5,1	11,5	Spuren	16,6	21,4

Zusammenfassung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die polarographische Methode zur Bestimmung von Kalzium und den Alkalien in den Elektroultrafiltraten von basenarmen Waldböden durchaus geeignet ist, da sie trotz sehr verdünnter Lösungen befriedigende Resultate liefert und durch die Möglichkeit einer äußerst schnellen Ausführung serienmäßiges Arbeiten gestattet. Im Verlauf der letzten Monate haben wir im hiesigen Institut eine große Anzahl Analysen nach dem oben geschilderten Verfahren ausgeführt. Die erzielten Ergebnisse haben die Brauchbarkeit voll bestätigt.

Schrifttum.

1. Wittich, W.: Nach bisher unveröffentlichten Arbeiten aus dem Bodenkundlichen Institut der Forstlichen Hochschule, Eberswalde.
2. Heyrovsky, J., u. M. Shikata: The Polarograph. Rec. Trav. chim. Pays Bas, 44, 1925, 496.
3. Heyrovsky, J.: Der Polarograph. W. Böttger, Physikalische Methoden der analytischen Chemie, 2, 1936.
4. Hohn, H.: Chemische Analysen mit dem Polarographen. Julius Springer, Berlin, 1937.
5. Majer, V.: Die polarographische Bestimmung der Alkalimetalle. Z. analyt. Chemie, München, 92, 1933, 321.
6. Kimura, G.: Polarographic studies XXIX. The electroreduction of calcium and magnesium and the estimation of calcium. Collection des travaux chimiques de Tschecoslovaquie, 4, 1932, 492.

Beitrag zur Frage der bei der Strohkompostierung auftretenden Humifizierungsvorgänge*).

Von L. Schulte.

Aus dem Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin. Direktor: Prof. Dr. F. Giesecke.

Eingegangen: 15. Juni 1938.

In vielen landwirtschaftlichen, vieharmen Betrieben reicht der anfallende Stallmist nicht aus, um den Bedarf an organischer Düngung voll zu decken. Um diese Lücke zu schließen, ist man gezwungen, Strohkompost zu erzeugen. Dabei ist es vor allem wichtig festzustellen, wie stark die bei der Kunstmistbereitung eintretende Humusbildung ist und in welchem Umfange reaktionsfähige Humusstoffe, unter besonderer Berücksichtigung der Humusform und Humusbindung, bei verschiedenen Rottearten gebildet werden. Zur Durchführung des Versuches wurden deshalb das Lockermist- und das Festmistverfahren herangezogen. Gleichzeitig wurden Kalkstickstoff und Kalkharnstoff als N-Quelle verglichen, da der unterschiedliche Kalkgehalt auch eine Differenzierung in der Bindung und damit vielleicht auch in der Humusform erwarten ließ. Neben der Humusbildung ist aber auch der bei der Strohkompostierung auftretende Substanzverlust von großer Wichtigkeit.

Nach Versuchen von W. Hesse und K. Schmalfuß (1) hat sich gezeigt, daß durch Verdoppelung der üblichen Stickstoffbeimengung von 0,7 % auf 1,4 % N und durch Anwendung der „feucht-festen" Lagerungsart sich die Substanzverluste von 42 % auf 31 % vermindern lassen. Gordon (2) fand nun, daß bei der Torfkompostierung durch die Erhöhung der Stickstoffgabe eine Hemmung in der Humusbildung eintritt.

Es war deshalb das Ziel dieser Arbeit festzustellen, in welcher Beziehung bei der Strohkompostierung die Substanzverluste zu den gebildeten Humusmengen stehen.

Zur Durchführung des Versuches standen 8 auszementierte Gärgruben mit 1,90 × 1,70 m Grundfläche und 2,75 m Höhe zur Verfügung. Der oberirdisch gelegene Teil konnte an der offenen Vorderfront mit genuteten Brettern dicht geschlossen werden. Die spätere Abdeckung geschah mit genau eingepaßten Holzdeckeln von 125 kg Gewicht, die durch Laufkatzen leicht auf- und abgehoben werden konnten. Zur besseren Pressung wurden die Deckel noch zusätzlich mit insgesamt 125 kg schweren Eisengewichten belastet. Damit war die Möglichkeit gegeben, das eingefüllte Material fast vollkommen gegen Luftzutritt zu schützen und Randverluste völlig auszuschalten. Das Sickerwasser konnte durch kleine, an der Grubensohle befindliche Ausflußöffnungen in tiefer gelegene Gruben abfließen.

Die in 2 Reihen zu je 4 nebeneinanderliegenden Gruben wurden so eingeteilt, daß schachbrettartig Kalkstickstoff mit Kalkharnstoff abwechselte und die vier innen gelegenen Gruben mit Lockermist beschickt wurden. Hierdurch wurde erreicht, daß alle Temperatureinwirkungen, besonders die der Lockerlage-

*) Diss. D 97, Univ. Berlin.

Lageplan.

Grube 2	Grube 4	Grube 6	Grube 8
Kalkstickstoff fest	Kalkharnstoff locker	Kalkstickstoff locker	Kalkharnstoff fest
Kalkharnstoff fest	Kalkstickstoff locker	Kalkharnstoff locker	Kalkstickstoff fest
Grube 1	Grube 3	Grube 5	Grube 7

Nr. 1—4 = einfache N-Gabe = 0,7 % N.
Nr. 5—8 = doppelte N-Gabe = 1,4 % N.

rung zur Festlagerung des Mistes, für sämtliche Gruben gleichmäßig waren, so daß hierdurch Fehlerquellen nicht entstehen konnten.

Die Herstellung des Kunstmistes wurde nach einem im Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität Berlin gebräuchlichen Verfahren durchgeführt. Als Ausgangsmasse diente Winterungsstroh. Bei Versuchen von Gerdum (3) hatte sich eine Schnittlänge von 10 cm als am besten geeignet erwiesen. Zur Sättigung mit Wasser wurde jeweils das zu einer Stapelung benötigte Material in flache Gärgruben eingewogen, mit Eisenschienen leicht gepreßt und vollständig unter Wasser gesetzt. Nach einer Sättigungsdauer von 24 Stunden betrug der Wassergehalt durchschnittlich 78—80 %. Der Stickstoff wurde in trockener Form mit dem vorgequollenen Stroh gemischt und dann je nach Lagerungsart eingefüllt.

Zu einer jeweiligen Stapelung wurden 2 dz lufttrockenes Stroh gebraucht. Arbeitstechnisch war es nicht möglich, sämtliche Gruben gleichzeitig anzusetzen. Deshalb wurde zuerst mit lockerer Einlagerung begonnen. Da durch Teilung der Stickstoffgaben (3) die Rottedauer verkürzt werden kann, wurden zunächst nur 0,35 bzw. 0,7 % N-Zusatz gegeben.

Nach erfolgtem Temperaturanstieg auf 60—65° C wurden die einzelnen Stapel festgetreten und neu beschickt bzw. bis zur neuen Beschickung zugedeckt. Der erste Stapel sämtlicher Lockermiste bedurfte einer einmaligen Umsetzung, da der Temperaturanstieg nach 6 Tagen nur etwa 10° C betrug und langsam wieder absank. Dieses dürfte auf die noch kalten Grubensohlen und Außenwände zurückzuführen sein. Außerdem war die Luftzufuhr am Grunde der Grube sehr schlecht. Nach erneutem Ansatz stieg die Temperatur sofort an. Bei den nun folgenden Beschickungen waren keine Stockungen im Temperaturanstieg zu bemerken, denn die aus den tiefer liegenden Stapeln aufsteigende Wärme regte die Bakterientätigkeit sehr schnell an.

Zum Anstieg bis auf 60—70° C benötigten die mit Kalkharnstoff angesetzten Gruben etwa 3—4 Tage, wobei oft ein fast sprunghafter Anstieg innerhalb einiger Stunden um 20° C festgestellt werden konnte. Bei Kalkstickstoff wurden hohe Temperaturen nach 6 Tagen erreicht. Es bestanden keine merklichen Unterschiede in der Temperaturhöhe, wohl aber im Temperaturverlauf zwischen Locker- und Festmist. Die Erwärmung der Festmiststapel war zwar nach den Ansätzen zunächst stark gehemmt, nach kurzer Zeit wurden aber auch überall 60° C erreicht. Es wird noch festzustellen sein, ob diese ganz im Gegensatz zu den bisherigen Versuchen mit Stallmist stehenden Ergebnisse auf die Schnittlänge des Strohs oder auf etwas anderes zurück-

zuführen ist. Im letzten Drittel der Rottezeit stiegen die Temperaturen bei 1,4% N-Zugabe wieder schwach an. Kurz nach Ansetzen der ersten Lockermiststapel konnte auch mit der Einfüllung der Gruben mit sofortiger fester Lagerung begonnen werden.

Zur Schaffung gleicher Versuchsbedingungen wurden auch hier 2 dz Stroh zur jeweiligen Stapelung 24 Stunden angefeuchtet und nach der Stickstoffzugabe angesetzt. Das eingefüllte Material wurde sofort festgetreten und zugedeckt. Der zeitliche Abstand der einzelnen Gaben wurde der Lockerlagerung möglichst angepaßt.

Am 22. Juli wurde mit dem Ansetzen begonnen, und am 25. August waren sämtliche Gruben mit 9 dz in fünfmaliger Stapelung gefüllt.

Die Gruben mit sofortiger fester Lagerung zeigten im Verlauf der Rotte langsameren Temperaturanstieg, der aber fast die Höhe der Heißmistgruben erreichte. Es ist unmöglich, sperriges Füllmaterial so fest zu lagern, daß die Luft vollkommen aus den Hohlräumen entfernt wird. Daß aber der hohe Temperaturanstieg nicht einen dem Heißmist gleich stark verlaufenden Abbau der organischen Masse zur Folge hat, beweisen die niedrigeren Verlustzahlen. Hochliegende Außentemperaturen im August/September erzeugten in den an der Vorderfront liegenden Schichten stärkeren Substanzverlust. Deshalb mußten von Zeit zu Zeit die Oberflächen eingeebnet werden.

Nach zwei Monaten, gerechnet vom Stapelungsschluß, wurden sämtliche Gruben umgesetzt und unter Hinzufügung der zweiten N-Gabe von 0,35 bzw. 0,7% der ursprünglichen Ausgangsmasse wieder je nach Lagerungsart eingefüllt. Da der Feuchtigkeitsgehalt unter 80% lag und damit bei der weiteren Rotte die Gefahr der Bildung von Trockennestern vorlag, wurden zur Erhöhung des Wassergehaltes 250 l Wasser je Grube gegeben. Schichtweise Stapelung konnte jetzt natürlich nicht erfolgen. Der äußere Befund ist in folgender Übersicht angegeben.

Tabelle 1.

	Lagerungsart	Trockensubstanz %	pH	Geruch
Einfache N-Gabe				
Grube 1 Kalkharnstoff	fest	22,9	6,2	stark sauer
Grube 2 Kalkstickstoff		25,2	6,3	sauer
Grube 3 Kalkstickstoff	locker	22,8	7,3	neutral b. schwach sauer
Grube 4 Kalkharnstoff		20,0	7,4	neutral b. schwach NH_3
Doppelte N-Gabe				
Grube 5 Kalkharnstoff	locker	22,9	5,75	siloartig
Grube 6 Kalkstickstoff		27,8	6,05	sauer
Grube 7 Kalkstickstoff	fest	24,1	7,2	schwach sauer
Grube 8 Kalkharnstoff		22,6	6,6	stark sauer

Der Mist aus den Gruben mit fester Lagerung hatte stark saueren Geruch und niedrige pH-Werte. Ebenso der Mist aus Grube 5 und 6 (Lockermist mit doppelter N-Gabe). Lockermist mit einfacher N-Gabe hingegen zeigte typischen Mistgeruch und hohe pH-Werte. Nach der zweiten N-Gabe stiegen die pH-Werte infolge der zugegebenen basisch wirksamen Stickstofformen (Kalkharnstoff enthielt 28,5% und Kalkstickstoff 59,0% Kalk, aus-

gedrückt in CaO) und des durch den Abbau des Harnstoffes bzw. Zyanamids freiwerdenden NH_3. Im weiteren Verlauf der Rotte machten sich keine stärkeren Schwankungen bemerkbar. Die pH-Werte lagen um 7,5—8.

Nach sechsmonatiger Rottezeit (Ende Januar) konnte der Versuch abgebrochen werden. Die obere Schicht in Höhe von etwa 50 cm war bei allen Gruben stärker als die tieferliegenden Schichten verrottet. Dasselbe Bild zeigte sich bei den nach außen und oberhalb der Abflußlöcher liegenden Schichten, ein Zeichen, daß durch diese ohne U-Rohr versehenen Löcher Luftzutritt erfolgt war, der den Charakter der verschiedenen Einlagerung aber nur unwesentlich beeinflußt. Nahe der Grubensohle und an den Rückwänden wiesen sämtliche Grubeninhalte geringste Verrottung des Strohes auf. Dadurch wurde die Entnahme einer Durchschnittsprobe außerordentlich erschwert.

Um die Umsetzungen auch während der Rotte verfolgen zu können, wurden mit Hilfe eines Mistbohrers (4) Proben aus der Mitte der Stapel entnommen. Wenngleich die Probenahme von einer Stelle nicht für den ganzen Stapel maßgebend zu sein braucht, so waren die Ergebnisse doch zur Erhärtung der allgemeinen Tendenz und bei der Auswertung der Endproben gut heranzuziehen.

Der erhaltene Kunstmist war bei doppelter N-Gabe und gleichzeitig fester Lagerung, also bei den Gruben 7 und 8, am geringsten verrottet. Dann folgten die Gruben 1 und 2, 5, 6. Am stärksten verrottet war der Mist in den Gruben 3 und 4. Dabei zeigte der mit Kalkharnstoff hergestellte Mist gegenüber dem mit Kalkstickstoff dunklere Farbe und größere Lockerung der Gewebestruktur. Siloartiger Geruch konnte bei allen Gruben im Gegensatz zur Untersuchung nach zweimonatiger Lagerung nicht mehr festgestellt werden. Sehr starken NH_3-Geruch wiesen die Gruben 2 und 7 auf, etwas schwächer 1 und 8. Der Inhalt der Gruben mit lockerer Lagerung hatte nur geringen NH_3-Geruch. Nur der Mist aus Grube 3 war im Geruch ganz schwach ammoniakalisch; wie auch aus Tabelle 2 ersichtlich ist, liegt hier der pH-Wert im schwachsauren Gebiet. Die Durchfeuchtung war überall gleichmäßig, nur in Grube 6 befanden sich wenige Trockennester. Die allgemeinen Verlustzahlen, berechnet aus Trockensubstanzeinwaage + Menge angegebenen Stickstoffdünger, sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Es zeigt sich deutlich, daß die sofort fest eingelagerten Mistarten die geringeren Substanzverluste gegenüber der Lockerlagerung aufweisen. Bei einfacher N-Gabe besteht eine Verlustdifferenz von etwa 10—11 % zwischen den Gruben gleicher N-Formen. Kalkstickstoff zeigt gegenüber Kalkharnstoff nur unwesentlich kleineren Verlust. Bei doppelter N-Gabe fand geringerer Abbau statt. Doch ist hier der Unterschied zwischen Kalkstickstoff mit 41,5 % und Kalkharnstoff mit 46,2 % Verlust bei Lockerlagerung etwas größer als bei einfacher N-Gabe. Dieses ist auf

Tabelle 2.
Übersicht über Trockenmasseverlust, pH-Werte und C:N-Verhältnis bei Beendigung der Rotte.

Stickstoffmenge und Form	Lagerungsart	Trockensubstanz %	pH	Gesamtmasse		C:N-Verhältnis
				Auswaage Trockensubstanz in kg	Verlust %	
Grube 1 0,7% Kalkharnstoff	fest	17,1	8,1	505	39,1	21,6
Grube 2 0,7% Kalkstickstoff	fest	18,8	8,1	521	37,3	25,1
Grube 3 0,7% Kalkstickstoff	locker	17,7	6,6	437	48,3	25,0
Grube 4 0,7% Kalkharnstoff	locker	18,5	7,0	423	49,6	21,5
Grube 5 1,4% Kalkharnstoff	locker	18,3	7,9	467	46,2	17,9
Grube 6 1,4% Kalkstickstoff	locker	20,9	7,5	503	41,5	16,3
Grube 7 1,4% Kalkstickstoff	fest	20,7	8,0	569	33,5	17,9
Grube 8 1,4% Kalkharnstoff	fest	19,2	7,1	567	34,3	19,5

langsameren Temperaturanstieg bei Kalkstickstoff und größeren N-Verlust bei Kalkharnstoff zurückzuführen, denn es trat während des Temperaturanstieges bei Kalkharnstoff auf 50—60° C so starke Harnstoffzersetzung auf, daß das freiwerdende NH_3 nicht gebunden werden konnte und, kenntlich am starken NH_3-Geruch außerhalb der Grube, verflüchtigte.

Zur näheren Kennzeichnung der während der Rotte, bei der Umsetzung und bei Beendigung des Versuches genommenen Proben seien im Folgenden noch die jeweilig gefundenen Gehalte an N in der Trockenmasse und die darin prozentual enthaltenen Eiweiß- und Ammoniakmengen (Tab. 3) angegeben.

Lemmermann (5) stellte die Forderung auf, daß Mist, der nach dem Einbringen auf dem Acker keine Stickstoffestlegung mehr zeigt, mindestens 2% Stickstoff in der Trockenmasse enthalten soll. Diese Zahl als Grenzzahl für alle Mistarten anzunehmen, dürfte nicht richtig sein. Denn die Stickstoffestlegung im Boden richtet sich sicherlich nach der noch im organischen Dünger vorhandenen leicht abbaubaren Kohlenstoffmenge. Daher ist es auch leicht zu erklären, daß der durch das Feuchtfestverfahren gewonnene Mist eine im Anfang schwächere, aber auf längere Zeit verteilte Wirkung zeigt, obwohl 30% des Stickstoffs in löslicher Form, also leicht aufnehmbar, vorliegen. Heißmist enthält aber, da er größere Substanzverluste hat, allgemein weniger leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen. Er kann deshalb den

Tabelle 3. Stickstoffgehalt der Proben in % der Trockensubstanz und der

Probe	0,7% Zusatz									
	Festlagerung									
	Kalkharnstoff			Kalkstickstoff			Kalkstickstoff			Kalk-
	1			2			3			
	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.
1. Aus dem 4. Stapel 4 Wochen nach der Einlagerung . .	0,77	63,2	31,8	0,79	57,1	26,8	0,82	69,5	16,3	0,79
2. Vor der 2. N-Gabe . . .	0,82	50,7	46,4	0,74	60,3	15,8	0,88	70,5	10,5	0,76
3. 3 Wochen nach der 2. N-Gabe	1,28	58,8	43,3	1,57	60,7	19,0	1,47	64,5	25,3	1,43
4. 8 Wochen nach der 2. N-Gabe	1,48	81,8	18,2	1,59	65,0	24,8	1,59	63,5	25,0	1,50
5. Nach Beendigung der Rotte	1,77	69,4	26,4	1,69	74,6	21,0	1,64	83,7	7,73	1,86

Pflanzen schneller Stickstoff und andere Nährstoffe zur Verfügung stellen. Daneben ist naturgemäß die durch die Heißvergärung stärkere Aufschließung der Gewebestruktur auch von Einfluß. Daraus könnte man vielleicht folgern, daß wir für Kaltmist ein engeres C:N-Verhältnis fordern müssen, wenn wir im ersten Vegetationsjahre gleiche Wirkung erzielen wollen. Wir verlegen also durch die Kaltmistbereitung einen sonst bei der Heißmistbereitung stattfindenden Abbauvorgang in den Boden.

Die charakteristische Art der N-Bindung innerhalb der verschiedenen Mistbereitungsarten zeigt sich bei den mit 0,7% N hergestellten Kunstmisten. Im Festmist sind etwa 69,4 bzw. 74,6% des Gesamtstickstoffs als Eiweiß-N festgelegt. Der Rest besteht fast ausschließlich aus Ammoniak-N. Beim Lockermist ist der Eiweiß-N-Anteil erheblich höher. Es hat hier demnach bedeutend stärkere Stickstoffestlegung stattgefunden. Bei hohem Eiweiß-N-Anteil im Gesamt-N findet sich auch gleichzeitig höherer Substanzverlust, denn ein großer Substanzverlust ist durch intensives Bakterienleben bedingt, und durch ein starkes Bakterienleben findet wiederum eine vermehrte Stickstoffestlegung statt.

Bei der doppelten N-Gabe sind die Unterschiede in den N-Formen zwischen Locker- und Festlagerung nur vor der zweiten N-Gabe scharf ausgeprägt. Nach der zweiten N-Gabe überschneiden sich besonders bei der Lockerlagerung 2 Vorgänge. Zunächst wird bei der Erwärmung auf 65° C der organische Stickstoffdünger sehr schnell unter Abspaltung von Ammoniak abgebaut. Insbesondere zerfällt Kalkharnstoff durch bakterielle Tätigkeit schon nach kurzer Zeit vollständig in NH_3

im Gesamt-N prozentual enthaltenen Eiweiß- und Ammoniak-Stickstoffmengen.

1,4% N-Zusatz													
Lockerlagerung								Festlagerung					
harnstoff		Kalkharnstoff			Kalkstickstoff			Kalkstickstoff			Kalkharnstoff		
4		5			6			7			8		
% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N	% Ges.-N in d. Trockensubst.	% Eiweiß-N im Gesamt-N	NH_3-N im Gesamt-N
58,9	35,0	1,15	54,3	25,6	0,80	73,8	13,8	1,34	48,3	19,5	1,09	36,2	58,4
88,4	11,3	1,25	62,3	23,8	1,03	57,5	16,5	1,32	48,9	31,4	1,10	46,3	43,5
71,2	26,0	2,18	44,5	55,5	1,90	53,3	28,3	1,97	47,2	27,8	1,85	55,4	40,8
74,9	20,9	2,04	56,0	41,0	1,99	51,5	36,1	1,97	52,6	37,4	2,06	55,7	43,4
88,7	10,0	2,38	60,3	30,7	2,48	61,4	28,1	2,32	56,8	29,1	2,12	57,7	37,3

und CO_2. Der NH_3-N-Gehalt beträgt deshalb bei der ersten Probenahme nach der 2. N-Gabe, also nach 3 Wochen, 55,4% des Gesamtstickstoffes. Die Umsetzung des Kalkstickstoffs ver-

Tabelle 4.

Kohlenstoffgehalt in der Trockensubstanz.

Probe*)	0,7% N				1,4% N			
	Grube							
	1 Kalkharnstoff	2 Kalkstickstoff	3 Kalkstickstoff	4 Kalkharnstoff	5 Kalkharnstoff	6 Kalkstickstoff	7 Kalkstickstoff	8 Kalkharnstoff
	fest		locker				fest	
1.	45,2	45,7	44,6	44,6	43,5	45,8	43,8	44,7
2.	44,5	45,6	45,6	45,3	43,2	40,9	42,2	44,6
3.	43,2	40,9	43,5	41,1	43,1	38,1	41,9	42,4
4.	41,5	39,9	41,0	41,4	42,2	44,2	44,3	42,7
5.	42,7	42,5	41,0	39,9	42,5	40,5	41,4	41,4

Tabelle 5.

C : N-Verhältnis.

1.	58,5	57,8	54,3	56,5	37,8	57,3	32,7	40,9
2.	54,5	61,6	51,8	59,7	34,5	39,7	32,0	40,6
3.	33,8	26,1	29,6	28,7	19,9	20,0	21,3	22,9
4.	28,1	21,1	25,8	27,6	20,7	22,2	22,5	20,7
5.	21,6	25,1	25,0	21,5	17,9	16,3	17,9	19,5

*) Die gleichen Proben wie in Tabelle 3 angegeben.

läuft etwas langsamer. Der höchste NH_3-Gehalt wird erst 8 Wochen nach der 2. N-Gabe erreicht. Diese großen Ammoniakmengen können auch im weiteren Verlauf der Rotte nicht als Bakterieneiweiß festgelegt werden, so daß bei Beendigung der Rotte noch 30% des Gesamtstickstoffs als Ammoniakstickstoff vorliegen.

Die aus den Gesamtstickstoff- und Kohlenstoffwerten zu errechnenden C:N-Verhältnisse (Tabelle 5) liegen, da die prozentualen C-Gehalte (Tabelle 4) keine nennenswerten Unterschiede aufweisen, ganz im Rahmen der gefundenen Gesamtstickstoffmengen. Bei 0,7% N-Zusatz konnte das geforderte C:N-Verhältnis = 20:1 nicht erreicht werden. Dabei ist auffallend, daß die Verhältniszahlen bei Fest- und Lockerlagerung innerhalb gleicher N-Formen trotz verschiedenen Substanzverlustes vollkommen gleich sind. Dieses ist darauf zurückzuführen, daß bei stärkerem Substanzverlust auch gleichzeitig größerer Stickstoffverlust stattgefunden hat.

Zur Berechnung des C:N-Verhältnisses und des Zersetzungsgrades wurden die Kohlenstoffbestimmungen mittels nasser Verbrennung durchgeführt.

Untersuchungen über die Humusbildung.

1. Vorbehandlung der Proben. Durch den gleichzeitigen Anfall der Proben für Stickstoff, Trockensubstanz und Humusbestimmungen war es unmöglich, sämtliche Untersuchungen sofort durchzuführen. Die Stickstoffbestimmungen durften wegen des sonst eintretenden starken Ammoniakverlustes nicht aufgeschoben werden. Bei der Herausnahme der Miste, insbesondere derjenigen aus Stapeln mit sofortiger fester Einlagerung, war nach kurzer Zeit eine merkliche Dunkelfärbung an der Luft zu beobachten. Diese Erscheinung deutet darauf hin, daß durch Sauerstoffzutritt typische Humusstoffe gebildet werden. Die Proben wurden nun bei 60° C sofort nach der Entnahme getrocknet. In welchem Maße damit ein Eingriff in die Löslichkeitsverhältnisse der verschiedenen Humusformen gegenüber den variierten Extraktionsmitteln stattfindet, ist bislang nicht näher untersucht worden. Durch gleichmäßige Behandlung sämtlicher Proben dürften die Fehler, die sich aus den Vergleichsuntersuchungen ergeben, keine nennenswerten Abweichungen bringen. Denn bei Mistuntersuchungen, insbesondere auf Humusgehalte mit Azetylbromid, muß die Probe doch getrocknet sein. Feinmahlung mittels Scheibenmühle brachte weitgehende Homogenität des Untersuchungsmaterials. Damit war auch die Gewähr gegeben, daß die zu den verschiedenen Bestimmungen angewandten geringen Substanzmengen dem Durchschnitt der Gesamtprobe entsprachen.

Um einen genauen Überblick über die Umwandlung der Stickstofformen zu erlangen, wurden, besonders zu Beginn der Rotte, fortlaufend in kurzen Zeitabständen Proben genommen. Zur eigentlichen Humusuntersuchung konnten natürlich diese Proben nicht herangezogen werden. Selbstverständlich fielen alle Proben, die einen Aufschluß über die Umwandlung der Stickstofformen innerhalb des Temperaturanstiegs nach dem Ansetzen der Stapel und nach der Umsetzung zur zweiten Stickstoffgabe geben sollten, fort. Denn es lag nicht im Rahmen dieser Arbeit, sämtliche biologischen Vorgänge zu erfassen. Aus diesem Grunde wurden auch nur die zur allgemeinen Kennzeichnung des Rotteverlaufs erforderlichen N-Angaben gebracht. Dem Augenschein nach ließ sich schon beurteilen, daß innerhalb einer Zeitspanne von 8—14 Tagen keine nennenswerten Veränderungen der Farbe und der Rotte, kenntlich durch Lockerung der Strohstruktur, eintraten. Es genügte also, Proben mit zeitlichem Unterschied von 4—6 Wochen zur Aufarbeitung vorzubereiten. Diese wurden auch zur Bestimmung des C-Gehaltes bzw. des C:N-Verhältnisses herangezogen.

2. Gesamtextraktion mittels NaF und NaOH. Zur mengenmäßigen Bestimmung des während des Rotteverlaufes gebildeten Humus wurden zwei Extraktionsverfahren, und zwar mittels NaF und NaOH, zur Anwendung gebracht. Als schonende Extraktion und zur Lösung auch kalkgebundener Huminsäuren im Mist empfiehlt Simon (6) 1 %iges NaF. Über das Verhältnis von Substanz zu Lösungsmittel und Dauer bzw. Temperatur, bei der die Extraktion durchzuführen ist, herrscht bei den verschiedenen Autoren bislang noch keine Übereinstimmung bzw. werden keine Angaben gemacht. Allgemein gehen die Ansichten dahin, daß die günstigsten Ergebnisse mit 0,5—1 %iger NaF-Lösung erzielt werden (7, 8). Die Dauer der Extraktion ist stark von der Temperatur abhängig. Ein Vorversuch, um die bei der Extraktion anzuwendende Temperatur zu ermitteln, wurde mit 100 ccm 1 %iger NaF auf 1 g getrockneten Mist durchgeführt. Nach dreitägigem Stehen bei Zimmertemperatur war noch keine nennenswerte Dunkelfärbung eingetreten. Durch längeres Kochen werden zwar weitgehend die echten, auch an Kalk gebundenen Huminsäuren herausgelöst, doch ist dieser Eingriff schon so stark, daß, wie Siegel (9) nachwies, auch schon Rottezwischenprodukte vom Charakter der Humo-Ligninsäuren in Lösung gehen. Um dieses zu vermeiden und den Lösungseffekt herabzudrücken bei gleichzeitiger Verkürzung der Extraktionsdauer, wurde ein Mittelweg gewählt. Durch Konstruktion eines elektrisch geheizten Wasserbades mit Relais, von einem Kontaktthermometer bedient, war es möglich, die Temperatur dauernd bei 50° C zu halten. In dieses Wasserbad wurden nun die Kolben von 125 ccm Inhalt, beschickt mit 1 g getrocknetem und gemahlenen Mist und 100 ccm 1 %iger Natrium-Fluoridlösung, genau 48 Stunden auf ein eingelegtes Drahtnetz gestellt. Nach dieser Zeit hatten sich auch bei Proben weniger gerotteten Mistes (s. Probe 1 von den Gruben 2, 7, 8, Tabelle 6) gut meßbare Farbdichten eingestellt, die proportional den versuchsweise verschieden angewandten Mengen waren. Größter Wert mußte auf genaueste Einhaltung der Zeit gelegt werden. Zur Trennung des auf 125 ccm aufgefüllten Rückstandes von der Lösung eigneten sich gut die Filter 605 hart von Schleicher und Schüll. Zur Messung der Farbintensität der Humuslösungen diente ein lichtelektrisches Kolorimeter für Absolutmessungen nach Lange, das neben der vorzüglichen Eigenschaft, Reihenuntersuchungen zu gestatten, mit Ausschaltung der Fehlerquellen, hervorgerufen durch Ermüdungserscheinungen der Augen bei subjektiven Meßapparaten, gleichzeitig den Vorteil bot, ohne Vorschaltung eines Spektralfilters die Messungen vorzunehmen. Hierdurch wurde die absolute Färbungsintensität bestimmt, ohne daß spezifische Absorptionserscheinungen für Humuslösungen verschiedenen Formcharakters das Meßergebnis beeinträchtigten. Auch bei Anwendung des Filters S 61 beim Stufenphotometer für Absolutmessungen machen sich Formunterschiede schon bemerkbar. Bei der Messung mit dem lichtelektrischen Kolorimeter muß jedoch streng darauf geachtet werden, daß bei allen Messungen ohne Vorschaltung eines Filters der Heizstrom der Lichtquelle konstante Stärke hat, denn bei einer veränderten Glühtemperatur des Leuchtfadens verschiebt sich das Helligkeitsmaximum im Spektrum des ausgesandten Lichtes, und der Effekt ist gleich der Vorschaltung eines anderen Filters.

Hock (10) erhebt die Forderung, Färbungsintensitäten nur mit Vergleichslösungen zu messen, deren Humusform mit der zu untersuchenden Lösung übereinstimmt, da gleiche Gewichtsmengen verschiedener Humusherkünfte ungleiche Farbdichte liefern.

Daß diese Forderung zum Teil erfüllt wurde, wenn die hier gebrauchten Eichkurven mit in NaOH gelöstem „Acidum huminicum Merck“ aufgestellt wurden, ergaben spätere qualitative Messungen der Humusextrakte. Es wäre auch unmöglich, diesen Forderungen genau nachzukommen, da durch jede Rotteart und -dauer der prozentuale Anteil von farbschwächeren Humoligninen und fertigen Huminsäuren verschieden sein muß. Es interessierte auch weniger die absolute Menge der Humusstoffe als vielmehr

der Bildungsverlauf innerhalb der Rotte auf Grund der verschiedenen Gewinnungsarten des Kunstmistes und der differenziert gegebenen Stickstoffmengen. In den Tabellen 6 und 7 sind aber die Humuswerte in Prozentgehalten angegeben, da eine Ausdrucksform gebraucht werden muß, die alle anderen Faktoren, wie H_2O-Gehalt usw., ausschaltet. Da die Farbintensität auch eine Funktion der Alkalikonzentration ist, mußten sämtliche bei neutraler Reaktion erhaltenen Extrakte auf die innerhalb der Meßreihe am höchsten vorkommende Laugekonzentration gebracht werden. Zur Vermeidung der Farbabschwächung, die bei einem Versuch bis 20% nach 24 Stunden betrug, wurde sofort nach der Laugezugabe bzw. nach Beendigung der Extraktion und Filtration gemessen.

Wie aus Tabelle 6 ersichtlich ist, findet im Verlauf der Rotte eine fast gleichmäßige Zunahme der gesamt NaF-löslichen Stoffe statt. Kleinere Abweichungen sind auf die Art der Probenahme zurückzuführen. Ein klares Bild von den Humifizierungsvorgängen kann hieraus nicht abgeleitet werden, da der Lösungsprozeß von zu vielen Faktoren bedingt ist. Unter diesen mag die Bindung an Kalk die Lösungsgeschwindigkeit entscheidend beeinflußt haben. Durch vorherige Behandlung mit 5%iger Salzsäure wären aber die festeren Ca-Humate in Huminsäuren überführt — und so dem Eingriff des Lösungsmittels besser zugänglich gemacht worden.

Doch wäre damit die charakteristische Lösungsweise kalkfällender Salze gestört worden. Ein Vergleich der ersten Probenahme mit der Endprobe vor der zweiten N-Gabe darf nicht geschehen, da die zweite Probe als Durchschnittsprobe von der gesamten Grube genommen wurde, während die erste Probe aus dem vierten Stapel stammte. Wie nicht anders zu erwarten, war der Gesamtinhalt nicht in dem gleichen Maße gerottet wie Stapel 4, da öftere Probenahme und die damit bedingte Aufdeckung der Grube stärkeren Luftzutritt zu den oberen Schichten zur Folge hatte. Der weitere Verlauf der Humifizierung nach der zweiten Stickstoffgabe war ähnlich dem beim Ansetzen der Gruben, da durch erneuten Luftzutritt und durch weitere N-Gabe noch einmal neue Temperaturerhöhungen und Zersetzung stattfanden.

Die Mengen der in 1%iger NaOH mit Salzsäurevorbehandlung löslichen Humusstoffe (Tabelle 7) zeigten innerhalb der ersten Wochen einen steilen Anstieg. Wie vorauszusehen war, ergaben Lockermiste höhere Werte. Eigenartig sind aber die allerdings nur wenig höher liegenden Werte bei doppelter N-Gabe. Nach der zweiten N-Gabe verschiebt sich dieses Verhältnis zu Gunsten der einfachen Stickstoffgabe, die jetzt mit 0,7% Stickstoff dieselben Stickstoffmengen wie die Gruben 5—8 vor der Umsetzung enthält. Die Huminsäurebildung geht jedoch allgemein nicht in demselben Maße wie vorher weiter. Es findet demnach eine Hemmung in der Entwicklung statt. Dieser Vorgang kommt hier aber nicht so deutlich zum Ausdruck wie später in den mit

Azetylbromid bestimmten Humusmengen, da hier in NaOH lösliche, dunkelgefärbte Humolignine entstehen.

Diese stoffliche Umwandlung ist eben das typische Kennzeichen der Rotte im Gegensatz zur Humifizierung, die als Endprodukte stabile, gegen Azetylbromid widerstandsfähige echte Humusstoffe liefert. Gut gerotteter Mist ist demnach nicht einem humifizierten Mist gleichzusetzen.

Da eine festere Bindung von Huminsäuren an Kalk vorlag, und zwar gestaffelt nach den verschiedenen Kalkmengen, erwies sich die Vorbehandlung mit 5%iger Salzsäure als unbedingt erforderlich.

Um die feste Kalkbindung zu zerstören, wurden 0,5 g Mist eine Stunde mit 100 ccm 5%iger Salzsäure auf dem Wasserbade erwärmt. Nach Auswaschen des Rückstandes bis zur Säurefreiheit erfolgte dann die Extraktion mit 100 ccm 1%iger NaOH-Lösung auch wieder eine Stunde auf dem Wasserbade.

Bei diesem Arbeitsgange ging der nichtfällbare Anteil (Fulvosäuren von goldgelber Farbe) verloren. Die geringe Menge dieser nicht erfaßten Säuren zeigte keine gut meßbaren Unterschiede weder bei verschiedener N-Gabe noch bei den verschiedenen Lagerungsarten, so daß der hierdurch entstandene Fehler unbedeutend war.

Wird die Extraktion ohne vorherige Lösung kalkgebundener Humate vorgenommen, so werden letztere von 1%iger NaOH nicht erfaßt. Diese Kalkhumate bilden aber den stabilsten und deshalb wertvollsten Anteil, so daß bei Qualitätsuntersuchungen auf Humusformen große Fehler unterlaufen würden, denn die stabilsten Humusformen bilden auch gleichzeitig die am schwersten löslichen Verbindungen. Wird der Quotient, gebildet aus dem Verhältnis der gefundenen Werte: „Lauge mit Säurevorbehandlung zu Lauge ohne Säurevorbehandlung“ aufgestellt, so muß dieser von Springer (11) als SrL/L bezeichnete Quotient die Festigkeit der Bindung anzeigen. Werte über 1 bedeuten deshalb, daß eine Kalkbindung vorliegt.

Wie aus Tabelle 8 zu ersehen ist, nimmt das Verhältnis von gesamtlaugelöslichem zu laugelöslichem Humus ohne HCl-Behandlung stetig ab. Dieser Befund ist leicht zu erklären. Die Menge des im Stickstoffdünger enthaltenen Kalkes reicht nur zur Bindung eines gewissen Anteils Huminsäuren aus. Weitere im Verlauf der Rotte sich bildende Huminsäuren müssen dann als freie Säuren oder als Ammoniumhumate ohne HCl-Vorbehandlung in Lösung gehen. Diese beeinflussen dann den SrL/L-Quotienten sehr stark. Deutlich, besonders in den Anfangs- und Endproben, machen sich die absoluten Kalkmengen bemerkbar. Allgemein liegen die Verhältniszahlen aus SrL/L für Kalkstickstoff (Gruben 2, 3, 6, 7) höher gegenüber Kalkharnstoff. Die Quotienten 1,20 für den mit Kalkharnstoff hergestellten Mist in den Endproben aus den Gruben 4 und 5 lassen sich nicht vollkommen einordnen. Diese Gruben hatten jedoch auch den größten Substanzverlust, so daß hier auch ein prozentual höher liegender Kalk-

Tabelle 6.

NaF-Gesamtauszug.

Die Humusmengen sind in % der Trockensubstanz, bezogen auf Ac. hum. Merck, angegeben.

	0,7 % N				1,4 % N			
	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff
	fest		locker				fest	
1. Aus dem 4. Stapel nach d. Einlagerung	0,29	0,19	0,36	0,35	0,39	0,42	0,39	0,25
2. Vor der 2. N-Gabe	0,31	0,31	0,38	0,34	0,40	0,35	0,36	0,31
3. 3 Wochen nach der 2. N-Gabe	0,43	0,55	0,56	0,84	0,80	0,52	0,47	0,53
4. 8 Wochen nach der 2. N-Gabe	0,90	0,59	0,59	0,82	1,28	0,59	0,53	0,74
5. Nach Beendigung der Rotte	1,06	0,82	0,87	1,05	1,39	1,44	0,88	0,85

Tabelle 7.

Gesamt-NaOH-Auszug.

Probe[1]) 1.	3,13	2,86	2,84	3,25	3,26	3,12	3,14	3,14
2.	3,25	2,74	3,42	3,87	3,50	3,46	3,44	3,36
3.	3,79	4,06	4,09	5,29	5,48	3,47	3,15	5,45
4.	5,57	4,90	5,74	5,24	5,52	3,80	3,92	4,30
5.	5,66	5,41	7,27	8,78	6,68	5,30	4,15	4,87

Tabelle 8.

Der SrL/L-Quotient.

Probe[1]) 1.	1,34	1,56	1,43	1,28	1,21	1,50	1,44	1,53
2.	1,40	1,38	1,36	1,33	1,45	1,42	1,67	1,51
3.	1,23	1,39	1,10	1,10	1,07	1,09	1,36	1,23
4.	1,12	1,24	1,40	1,22	1,10	1,46	1,23	1,14
5.	1,05	1,15	1,22	1,20	1,20	1,12	1,24	1,01

[1]) Wie in Tabelle 6 angegeben.

anteil vorliegt. Auch Grube 3 läßt sich hier einordnen. Bemerkenswert sind auch die sehr niedrigen Werte der Lockermiste bei der ersten Probenahme und nach der zweiten N-Gabe, was auf verstärkte Bildung von noch nicht reaktionsfähigen, aber schon laugelöslichen dunkelgefärbten Abbaustoffen hindeutet. Die weitere Ausreifung zu echten Huminsäuren erfolgte im Verlauf der nächsten Wochen, da trotz Festtretens und Zudeckens der Gruben kein vollkommener Luftabschluß, kenntlich an dauernd hohen Temperaturen, von 40—50° C, erreicht werden konnte. Diese Erscheinung steht nicht im Gegensatz zu den von Siegel (9)

bei seinen Versuchen gefundenen Werten, wonach die Bildung echter Huminsäuren schon nach einmonatiger Lagerungsdauer aufhörte. Bei der Rotte des Stallmistes, besonders bei solchem aus Betrieben mit relativ hohem Viehbestande, ist sofortige feste Lagerung leichter zu erreichen, da der im Frischmist sich befindende hohe Kotanteil die Hohlräume zwischen den Strohhalmen ausfüllt und diese Hohlräume auch durch das Gewicht der Stalltiere zerstört sind. Es muß jedoch, wie Springer (11) betont, unterschieden werden zwischen Festigkeit der Bindung und Stabilität des Humuskörpers selbst; damit sagt also der SrL/L-Quotient nichts über die Humusform, ob dem Braun- oder Grauhuminsäuretyp angehörig, aus, sondern nur, in welcher Bindungsform er vorliegt. Daß beim Vorkommen von Grauhuminsäuren gleichzeitig der SrL/L-Quotient sehr hoch ist, ist bedingt durch den hohen Kalkgehalt der Schwarzerdeböden. Wegen der verschiedenen Lösungskraft stark alkalischer und schwach alkalischer bzw. neutraler Lösungsmittel für Rottezwischenprodukte im Miste, dürfte die Aufstellung der Quotienten Lauge zu Soda oder Natriumoxalat zu Lauge, nur zu Fehlschlüssen führen.

Tabelle 9.

Oxydationswerte und relative Farbtiefe.

Grube		1	2	3	4	5	6	7	8
vor der 2. N-Gabe	verbrauchte $KMnO_4$ ccm	6,1	6,0	4,15	4,25	4,35	4,95	4,8	4,9
	relative Farbtiefe	13,7	13,3	24,1	22,8	22,5	15,9	14,5	15,5
Schlußprobe	verbrauchte $KMnO_4$ ccm	6,15	6,15	6,25	6,65	6,3	6,1	5,45	5,5
	relative Farbtiefe	22,9	23,4	32,0	33,8	26,5	25,6	21,6	26,2

Zur näheren Charakterisierung der im NaOH-Auszug erhaltenen Humuslösungen wurden die Oxydationswerte mittels $KMnO_4$ bestimmt und daraus die relative Farbtiefe errechnet, wobei die Farb- und Oxydationswerte von ac. hum. Merck als Bezugsgröße herangezogen wurden. Der absolute Verbrauch an n/10 $KMnO_4$ von 10 ccm Filtrat ergab kaum Unterschiede, die eine Schlußfolgerung auf die Humusqualität zuließen. Doch sind in den Heißmistauszügen nach der ersten Stickstoffgabe geringere Mengen oxydierbare Substanzen als im Festmist vorhanden (Tabelle 9). Bei Beendigung des Versuches liegen die Heißmistwerte gegenüber Festmist etwas höher. Die Oxydationswerte stehen aber in ihrer Höhe in keiner Beziehung zu den Farbwerten, da die Huminsäuren nur einen geringen Anteil an der Gesamtmenge der mit NaOH herausgelösten oxydierbaren, organischen Substanzen bilden. So können größere Abweichungen in der

relativen Farbtiefe leicht Qualitätsunterschiede vortäuschen, obwohl, wie später dargelegt wird, solche nicht vorhanden sind. Der Wert „RF" ist also in diesem Falle rein eine Funktion der Huminsäuremenge und kann feinere, qualitative Unterscheidungsmerkmale nicht aufdecken.

3. Bestimmung der Reinhumussubstanz. Die Bestimmung der Reinhumussubstanz erfolgte nach der Vorschrift von Springer (12) mittels Azetylbromids. Der in Acetylbromid unlösliche Rückstand wurde im Glasfiltertiegel 1 G 3 abfiltriert und der Aschengehalt durch Verbrennen im Veraschungsofen festgestellt. Die Differenz ergab Reinhumus. Von den hier erhaltenen Werten seien nur die wichtigsten angegeben. (Tabelle 10).

Nach der ersten Umsetzung zeigten die Proben aus Gruben mit doppelter N-Gabe bis dahin (also 0,7 % N) die höheren Werte gegenüber einfacher N-Gabe (bislang also 0,35 % N). Für die Ausbildung der in Azetylbromid unlöslichen Stoffe war infolgedessen 0,7 % N günstiger. Nach der zweiten N-Gabe drehte sich dieses Bild vollkommen um. Analog dem Befund von Gordon (2), dort allerdings bei Umsetzungsversuchen mit Torf, wiesen die Gruben mit einfacher N-Gabe, die also jetzt 0,7 % N enthielten, gegenüber denen mit doppelter N-Gabe, d. h. jetzt 1,4 % N, bedeutend mehr echte Humusstoffe auf. Es scheinen demnach bei einer Zugabe in Höhe von 0,7 % N bessere Vorraussetzungen für die Humusbildung vorzuliegen. Die Richtung (mit Ausnahme von Grube 6) — weniger Verlust, weniger Humus — besonders bei gleichen N-Mengen ist zwar gewahrt, doch steht die sehr geringe Bildung echter Humusstoffe in einem sehr viel weiteren Verhältnis zu den Trockenmasseverlusten. Die höheren Werte bei Lockermist waren zu erwarten, die Unterschiede treten bei doppelter N-Gabe stärker hervor.

Tabelle 10.

Reinhumusgehalt in % der Trockensubstanz.

	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nach der 1. N-Gabe	1,99	1,61	2,94	3,62	3,20	4,13	3,48	3,03
Schlußprobe	14,4	14,3	16,8	19,8	9,4	11,1	3,58	5,58

Tabelle 11.

Der Zersetzungsgrad nach der ersten N-Gabe und bei Beendigung des Versuches.

	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nach der 1. N-Gabe	2,6	2,1	3,7	4,4	4,3	5,9	4,8	4,0
Schlußprobe	19,6	19,5	23,8	29,0	12,9	15,9	5,4	7,8

Der Zersetzungsgrad (Tabelle 10) nach Springer (1), ausgedrückt durch $Ch \times 100 : Ct$ (C % des Humus : C % der organischen Ausgangsmasse), mußte Zahlen bringen, die in ihrer Ten-

denz mit den Humusmengen übereinstimmen und nur den Humifizierungsgrad stärker kennzeichnen. Ch wurde mit dem Faktor 0,58 aus Reinhumus errechnet. Der Vergleich der einzelnen Humifizierungsgrade mit den von Siegel (13) gefundenen Werten läßt gute Übereinstimmung erkennen, sofern gleiche C:N-Verhältnisse herangezogen werden. Das C:N-Verhältnis des dort zur Untersuchung herangezogenen Mistes betrug etwa 19—20, lag also nur wenig tiefer. Zieht man ferner die beim Stallmist bessere feste Lagerungsmöglichkeit und den damit verbundenen geringen Substanzverlust in Betracht, so ist die Zunahme des Humifizierungsgrades beim Kaltmist (zwischen 3—6) und beim Heißmist (zwischen 9—16) den an dieser Stelle gefundenen Werten gleichzusetzen.

Die Miste mit einfacher N-Gabe müssen von vornherein von der Betrachtung ausgeschlossen werden, da hier das C:N-Verhältnis zwischen 26—33 schwankt. Gruben mit doppelter N-Gabe stimmen mit 20—22 selbstverständlich nach der zweiten N-Gabe annähernd mit den von Siegel zur Durchführung seiner Versuche zur Verfügung stehenden Frischmisten überein.

Die Angabe in % der Trockenmasse als Ausdruck für die gebildete Humusmenge ist wertlos, sofern nicht gleichzeitig die Gesamtmasse in Rechnung gestellt wird. Denn mit der Humifizierung läuft, bestimmte Bedingungen vorausgesetzt, der Verlust an Gesamtmasse parallel (Tabelle 12). Es darf nicht unser Ziel sein, Dünger mit hohem prozentigen Anteil an gut humifizierten Substanzen unter großem Verlust anderer zur Erhaltung eines regen Bakterienlebens nutzbringender organischen Stoffe zu erzeugen. Beides zu verbinden ist schwer. Hier den gangbaren Mittelweg zu finden, auch unter Berücksichtigung der Humusqualität, muß die Aufgabe gesunder Humuswirtschaft sein.

Berechnet man nun die Humusmenge, die bei 1 kg Substanzverlust neu gebildet wurde, so erbrachten die mit 0,7% Stickstoffzugabe gewonnenen Mistarten gegenüber den mit 1,4% N-Zugabe gewonnenen die weitaus besseren Ergebnisse. Festmist ist auch hier trotz geringerer Substanzverluste den Lockermisten überlegen.

Stellen wir nun einen Vergleich auf zwischen den mit NaOH und den mit Azetylbromid erhaltenen Werten, so machen sich hier Unterschiede bemerkbar, die nicht zu erwarten waren. Einmal lieferte NaOH besonders in der Endprobe bedeutend geringere Mengen Huminsäure im Vergleich zu Azetylbromid. Da diese aber als Gramm in 100 Gramm, bezogen auf „Ac. Hum. Merck“, angegeben sind, können diese Zahlen zwar einen Ausdruck für die Färbungsintensität, nicht aber für die absolute Menge dieser die Färbung herbeiführenden Stoffe geben. Je weniger stabil, d. h. je weniger ausgereifte Huminsäuren prozentual im Gesamtextrakt vorliegen, desto geringer muß die Farbkraft, bezogen auf den gewichtsmäßigen Anteil, sein. Zur Bestimmung des letzteren konnte die gravimetrische Ermittelung der

Tabelle 12.
Substanzverlust und Humusgewinn bei den verschiedenen Rottearten.

	0,7 % N				1,4 % N			
	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff
	fest		locker				fest	
Substanzverlust/kg	324	310	409	416	402	357	287	296
Humusgewinn in kg	72,8	74,4	73,4	83,8	43,9	55,8	20,3	31,6
1 kg Substanzverlust erbrachte kg Humus	0,22	0,24	0,18	0,20	0,11	0,16	0,07	0,11

Tabelle 13.
Anteil der Huminsäuren am Reinhumusgehalt.

Nach der 1. N-Gabe	164	170	116	107	109	83,8	98,8	111
Nach Beendigung der Rotte	39,3	37,7	43,3	44,3	71,1	47,8	115	87,3

mit HCl fällbaren Anteile herangezogen werden. Besser geeignet waren aber die in Azetylbromid unlöslichen Humusstoffe, da hier fällbare Lignine und Humolignine entfernt waren.

In Tabelle 13 sind die Verhältniszahlen angegeben. Werte über 100 können vorkommen, denn Ac. hum. ist teilweise in Azetylbromid löslich. Der sehr hohe Anteil farbstarker Huminsäuren in den Gruben 1 und 2 mit 164 bzw. 170 nach der ersten N-Gabe ist charakteristisch für die schnelle Bildung echter Huminsäuren. Bei doppelter N-Gabe lag der Anteil tiefer. Im Verlauf der weiteren Rotte, also nach der zweiten N-Gabe, ging die Bildung echter Huminsäuren zurück, am stärksten bei 0,7 % N. Dieses muß wieder mit den für Reinhumus gefundenen Werten übereinstimmen, da ja die hier gegebenen Zahlen eine Funktion letzterer darstellen. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit den Untersuchungen von Siegel (9). Doch konnte aus den dort gefundenen Ergebnissen leicht der Schluß gezogen werden, daß die im ersten Monat stattfindende starke Bildung von Huminsäuren auf die schon im Kot vorhandenen Zersetzungsprodukte zurückzuführen sei, die nach einigen Wochen Rottedauer zu fertigen Huminsäuren ausreiften. Da aber im vorliegenden Falle der Abfall des prozentischen Anteils der Huminsäurebildung noch schärfer zum Ausdruck kommt mit Ausnahme der die Humusbildung verzögernden hohen N-Gaben, so muß daraus die Folgerung gezogen werden, daß auch bei der feuchtfesten Stallmistbereitung der Strohanteil als Huminsäurelieferant maßgebend beteiligt ist.

Untersuchungen auf Humusform.

Durch die im vorigen Kapitel angeführten Ergebnisse der direkten Extraktion der Humusstoffe mittels NaF und NaOH konnten keine Schlußfolgerungen in bezug auf Humusform, wohl aber auf Bindung der Huminsäuren gezogen werden. Zur besseren Erkundung des Zersetzungsgrades wurde von Simon (14) der stufenweise Auszug mit Wasser, kalkfällenden Salzen und NaOH empfohlen. Bei den in dieser Richtung von Siegel (9) durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, daß in den auf der Württembergischen Dunglege gewonnenen Düngern der spezifisch wasserlösliche Anteil mengenmäßig am stärksten vertreten war. Dieser Befund, der durch den Mangel an Kalk zur festeren Bindung der Huminsäuren leicht zu erklären ist, konnte nicht auf Kunstmist übertragen werden, da durch die Zugabe der im Kalkstickstoff und Kalkharnstoff enthaltenen Kalkmengen eine festere Bindung durch Bildung von wasserunlöslichen Kalziumhumaten vorauszusehen war. Gleichzeitig mußten durch den unterschiedlichen Gehalt an basisch wirksamen Stoffen und durch die differenzierte Stickstoff- und damit auch Kalkgabe die Löslichkeitsverhältnisse innerhalb der einzelnen Gruben verschieden sein. Da die Absolutwerte auch durch die Gesamtmengen der gebildeten extrahierbaren Huminsäuren bedingt sind, ferner die Menge der an Kalk gebundenen Huminsäuren durch den SrL/L-Quotient angegeben wurden, seien hier nur die Prozentzahlen der in den einzelnen Fraktionen erhaltenen Werte angegeben.

Auch hier wurden sämtliche Messungen bei gleicher Laugenkonzentration, und zwar sofort nach Laugezugabe durchgeführt. Die Extraktionsdauer war jeweils eine Stunde bei Siedetemperatur bei einem Gramm Ausgangsmaterial und 100 ccm Lösungsmittel.

Tabelle 14.

Stufenweise Extraktion der Endproben. Prozentualer Anteil der einzelnen Fraktionen an der Gesamthumusmenge.

	1	2	3	4	5	6	7	8
H_2O-Fraktion	24,5	14,8	8,3	14,6	13,1	9,6	14,9	15,5
NaF-Fraktion	11,0	19,9	19,7	13,9	19,1	38,5	32,8	13,7
NaOH-Fraktion	64,5	65,3	72,0	71,5	67,8	51,9	52,3	70,8

Aus Tabelle 14 ist deutlich zu ersehen, daß mit steigenden Kalkgaben die Menge der mit Wasser extrahierbaren Humuskörper abnimmt. In Lösung gehen die nicht mit Erdalkalien fällbaren, niedermolekularen Fulvosäuren und auch die Huminsäuren, die nicht kalkgebunden sind und hier als Ammoniumhumate bzw. als freie Huminsäuren vorliegen. Die Bestimmung der nicht fällbaren Stoffe ergab, daß diese fast überall in gleicher Konzentration vorhanden waren. Der prozentuale Anteil innerhalb des H_2O-löslichen Teiles zeigte deutlich auf die Wirkung des Kalkes hin.

Die anschließende einstündige Behandlung des Rückstandes mit 100 ccm 1%iger NaF-Lösung erfaßte noch die an Kalk gebundenen Huminsäuren und wies bei den Gruben mit Kalkstickstoff die höchsten Extraktionsergebnisse auf. Letzteres geht eindeutig aus folgender Übersicht (Tabelle 15) hervor.

Tabelle 15.
Beziehung zwischen Kalkmenge und spezifisch NaF-löslichem Anteil.

Stickstoffform Stickstoffmenge	Kalkharnstoff 0,7% N		Kalkharnstoff 1,4% N		Kalkstickstoff 0,7% N		Kalkstickstoff 1,4% N	
Grube Nr.	1	4	5	8	2	3	6	7
CaO kg je Grube	9,05		18,1		18,05		36,1	
% spez. NaF-lösl.	11,0	13,9	19,1	13,7	19,9	19,9	38,5	32,8

Die gegebenen Kalkmengen verdoppeln sich von Kalkharnstoff zu Kalkstickstoff, ferner von einfacher zu doppelter N-Gabe. In welcher Bindungsform der Kalk vorlag, war ohne Einfluß, denn die spezifisch NaF-gelösten Humusmengen blieben mit 19,9 bzw. 19,7 in den Gruben 2 und 3 und mit 19,1 in Grube 5 bei verschiedenen CaO-Formen fast gleich. Ebenso lagen die Anteile aus den Gruben 1 und 4 um die Hälfte niedriger. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß in Grube 4 der größte Substanzverlust vorhanden war. Gruben 7 und 8 konnten kaum verglichen werden, da, wie die vorhergehende Untersuchung zeigte, sehr geringe Humusbildung vorlag.

Die weitere Behandlung des Rückstandes mit NaOH brachte noch die laugelöslichen Rottezwischenprodukte vom Charakter der Humoligninsäuren, die aber restlos mit Säuren gefällt werden konnten. Allerdings zeigte dieses Fällungsgel nach zweitägigem Stehen, im Gegensatz zu dem tiefbraungefärbten der NaF-Extraktion, in den oberen Schichten leicht opaleszierenden Farbton, der wahrscheinlich von wenig zersetzten Ligninen herrührte.

Durch diese Versuchsmethodik ist nun eine Trennung der leicht dispergierbaren, niedermolekularen, von den H_2O resistenten Huminen und der Übergangsprodukte erfolgt, die bei Untersuchungen auf vorliegende Huminsäureformen weitgehend Aufschluß über ihre chemische Stabilität (nicht Bindungsfestigkeit) geben müssen. Hock (15) erkannte die typischen Farbkurven, d. h. die Veränderung der Lichtabsorption bei verschiedenen Wellenlängen des Lichtes im sichtbaren Teil des Spektrums, als charakteristisches Merkmal der vorliegenden Huminsäureformen. Stark ansteigende Absorption bei Spektralfiltern kurzer Wellenlänge deutet auf Vorhandensein weniger wertvoller Huminsäuren hin. Messungen der Extinktion mit dem Stufenphotometer unter Vorschaltung von verschiedenen Spektralfiltern von S 72 bis S 43 gestatteten, die typischen Farbkurven aufzustellen. Zur Erleichterung der Vergleichsmöglichkeiten wurden sämtliche Extinktionen auf S 72 = 1 bezogen.

Die folgenden Abbildungen stellen die typischen Farbkurven der stufenweisen Extraktion der Endprobe dar. Zur Herstellung gleicher Versuchsbedingungen wurden sämtliche Extrakte in 1%iger NaOH-Lösung gemessen. Da, wie Frömmel (16) nachwies, die Verlagerung des Kurvenbildes, kenntlich durch stärkeren Anstieg, nach dem kurzwelligen Teil zu bei gleichen Huminsäureformen keine Unterschiede aufweisen, so durfte der Laugezusatz unbedenklich geschehen. Allerdings mußte, um Farbabschwächung zu vermeiden, sofort nach dem Laugezusatz kolorimetriert werden.

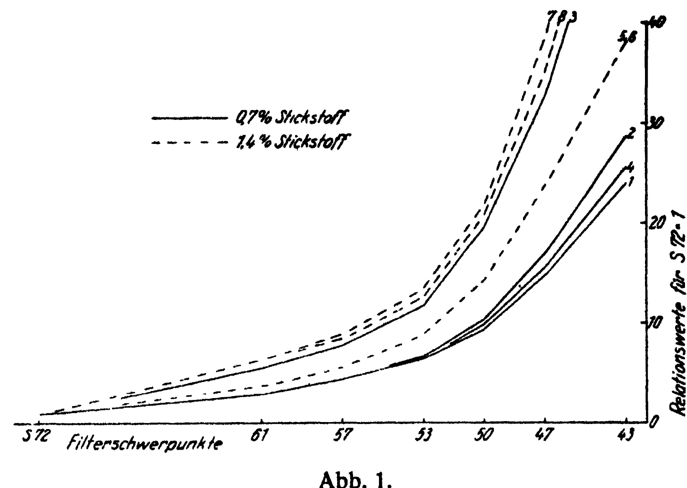


Abb. 1.
Farbkurven für den H_2O-Auszug.

Aus der graphischen Darstellung (Abb. 1) könnte die Folgerung gezogen werden, daß doch beträchtliche Unterschiede in bezug auf Formcharakter schon innerhalb des H_2O-löslichen Anteils vorhanden sein müssen. Da aber, wie oben erwähnt, hier ein Gemisch echter Huminsäuren oder deren Ammoniumsalze mit niedermolekularen Fulvosäuren vorliegt, war es notwendig, den mit Mineralsäuren nicht fällbaren Anteil festzustellen. Die erhaltenen Werte zeigten, daß die absolute Menge Fulvosäuren bei allen Rottearten und Stickstoffgaben fast gleich sind.

Eine Schlußfolgerung aus den geringen Abweichungen zu ziehen, dürfte bei der schwachen Farbintensität und der dadurch bedingten Meßungenauigkeit nicht angebracht sein. Der sich aus den gefundenen Mengen ergebende prozentuale Anteil der Fulvosäuren in der HO_2-Fraktion mußte, sofern keine Formunterschiede bestehen, mit dem jeweiligen Kurvenverlauf übereinstimmen. Letzterer ist am einfachsten durch Bildung eines Quotienten aus dem Extinktionskoeffizienten zweier Spektralfilter mit verschiedenen Wellenlängen zahlenmäßig zu charakterisieren. Andere Darstellungsarten, z. B. durch Aufstellung der log k-Werte und Errechnung von tg α sind auch möglich, besagen aber im Prinzip das-

Tabelle 16.
Übersicht über absolute Mengen der Fulvosäuren und ihre Beziehung zur Farbkurve des H_2O-löslichen Anteils.

	0,7% N				1,4% N			
	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff	Kalkharnstoff	Kalkstickstoff	Kalkstickstoff	Kalkharnstoff
	fest		locker				fest	
Absolute Menge Fulvosäure . . .	0,25	0,22	0,22	0,25	0,26	0,24	0,24	0,24
%iger Anteil in der H_2O-lösl. Fraktion	21,9	36,8	47,7	26,5	40,6	51,4	50,9	36,2
Filter S 43/S 53 . .	3,74	4,38	4,63	3,95	4,31	4,64	5,38	4,22

selbe. Zu empfehlen sind letztere aber nur bei reinen Huminsäuren bzw. deren Mischungen, da bei Stoffen mit Übergangscharakter die Aufstellung einer Geraden aus log k nicht immer zu erreichen ist. In Tabelle 16 ist der Zusammenhang zwischen dem prozentigen Anteil der Fulvosäuren in der H_2O-löslichen Fraktion und dem Quotienten aus S 43/S 53 zu erkennen. Unterschiede in der Stabilität der Huminsäuren sind deshalb kaum anzunehmen.

In der darauf folgenden NaF-Extraktion wurden nun die schwer dispergierbaren und die an Kalk gebundenen Huminsäuren erfaßt. Bei der NaOH-Zugabe bis zur 1%igen Endkonzentration zeigte sich, daß bei einigen Extrakten eine Farbvertiefung, bei anderen eine Farbabschwächung eintrat (Tabelle 17). Auffallend ist die Erscheinung der Farbvertiefung bei schwach saurer Reaktion, während bei schwach alkalischer diese nicht vorhanden ist. Die NaF-Lösung zeigte pH 6,5. Die nach der Extraktion erhaltenen pH-Werte waren bedingt durch Ionen-Austausch zwischen NaF und Kalkhumaten bzw. noch etwa vorhandene Huminsäuren, also gestaffelt nach Kalkmenge und Humifizierung. Stärkste Humifizierung und geringste Kalkgabe (Grube 4) mußte deshalb auch den niedrigsten pH-Wert nach der Extraktion aufweisen. Umgekehrt waren die pH-Werte bei den Proben aus den Gruben 6 und 7 sehr hoch (Tabelle 17).

Erstens konnte demnach die Farbvertiefung auf den pH-Wert zurückzuführen sein. Zweitens aber auch auf die Humusform. Simon (8) fand, daß die mit NaF bei saurer Reaktion, d. h. auch Endreaktion, extrahierten Huminsäuren in besonders reiner Form anfallen.

In den typischen Farbkurven der Abbildung 2 tritt dieses klar hervor. Die bei pH über 7 erhaltenen Huminsäurelösungen zeigen in ihrem Kurvenverlauf schärferen Anstieg. Da auch bei der Azetylbromidmethode die Gruben mit doppelter N-Gabe geringste

Tabelle 17.
Beziehung zwischen pH-Wert und Farbintensität der mit NaF erhaltenen Humuslösungen.

	Grube							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,66	7,00	6,72	6,61	7,09	7,91	7,70	6,73
Humusmengen in NaF-Lösung gemessen	4,8	8,8	9,7	8,4	9,5	23,3	12,6	6,0
in NaOH-Lösung gemessen . . .	5,2	8,3	10,5	9,2	9,5	19,1	10,1	6,0

Humifizierung aufwiesen, ist die schlechtere Humusbildung auch vom Formcharakter aus gesehen leicht verständlieh. Durch den Vergleich mit Ac. hum. ergibt sich aber, daß der vorliegende Formtyp zu den Braunhuminsäuren eines degradierten Bodens zu rechnen ist. Vergleichsweise wurden auch Endproben, die vorher zwei Tage mit NaF bei 50° C behandelt waren, noch zwei Stunden mit NaF bei Siedetemperatur, also unter etwas schärferen Bedingungen, einer erneuten Lösung unterzogen. Weniger wertvolle Humusstoffe waren dabei vielleicht durch die vorausgehende

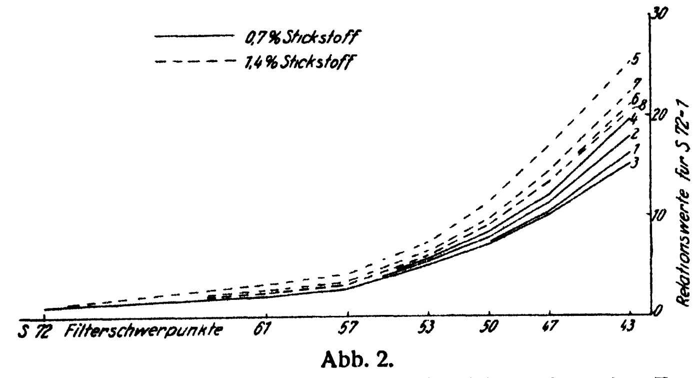


Abb. 2.
Farbkurve für den spezifisch NaF-löslichen Anteil bei der stufenweisen Extraktion.

NaF-Extraktion entfernt. Das Verhältnis von S 43/S 53 war bei den Gruben mit einfacher N-Gabe: Kalkharnstoff: fest 2,40, locker 2,49; Kalkstickstoff: fest 2,47, locker 2,57; bei doppelter N-Gabe Kalkharnstoff: fest 2,50, locker 2,51; Kalkstickstoff: fest 2,70, locker 2,72. Diese Unterschiede sind so gering, daß überall gleiche Humusformen vorzuliegen scheinen. Doch ist ein kleiner Unterschied zwischen locker und fest auf bessere Ausreifung der Huminsäuren zurückzuführen.

Durch die weitgehende Erfassung echter Huminsäuren konnten bei der anschließenden NaOH-Behandlung nur noch Humusvorstufen in Lösung gehen, die aber noch beträchtliche Färbungsintensität entwickelten. Die typischen Farbkurven (Abb. 3) haben

deshalb völlig gleiche Tendenz; auch Grube 6, bildlich zwar etwas herausfallend, läßt sich, sofern das Verhältnis von S 43/S 53 gebildet wird, vollkommen einordnen.

Aus den vorhergehenden Untersuchungen hatte sich ergeben, daß die bei der fraktionierten Extraktion erhaltenen Humusstoffe fast ausschließlich dem Typ der Braunhuminsäuren angehören. Die typischen Farbkurven geben aber nur ein Bild, das durch sämtliche in der Fraktion enthaltenen Humustypen bedingt ist. Es können demnach in den einzelnen Lösungen Huminsäuren des Braunerde- und Schwarzerdetyps vorliegen, die nach ihrem Mengenverhältnis die Richtung der Kurve bzw. die daraus leicht abzuleitenden Kennzahlen in ihrer verschiedenen Darstellungsform beeinflussen. Geringe Mengen Grauhuminsäure sind deshalb bei großem Braunhuminsäure-Überschuß kaum wahrzunehmen. Es

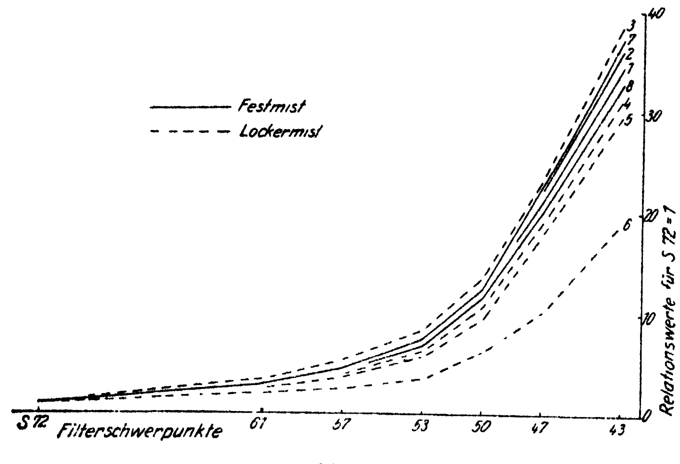


Abb. 3.
Farbkurven für den spezifisch NaOH-löslichen Anteil der stufenweisen Extraktion.

ist jedoch äußerst wichtig festzustellen, ob überhaupt Spuren von Grauhuminsäuren vorliegen, denn diese Bildung, sei sie auch mengenmäßig äußerst gering, könnte uns Hinweise geben, in welcher Richtung andere Versuche angestellt werden müßten, um die Ausbeute an den für bodenverbessernde Maßnahmen sehr wertvollen Grauhuminsäuren zu steigern.

Von Springer (17) wurde nun eine Methode ausgearbeitet, die es ermöglicht, auf Grund der verschiedenen Elektrolytempfindlichkeit Braunhuminsäure von Grauhuminsäure zu trennen. Ein für die Gegenwart von Grauhuminsäure wichtiges Kennzeichen ist die Aufstellung einer Verdünnungskurve. Die Abweichung des Extinktionskoeffizienten vom Verhältnis der Verdünnung, d. h. die größte Farbtiefe wird bei einer Lauge-Endkonzentration von 0,25 % erhalten, ist für Grauhuminsäure charakteristisch.

Versuche in dieser Richtung brachten jedoch weitgehende Proportionalität zwischen Verdünnung und Extinktionskoeffizienten, so daß mit dem Vorhandensein grauhuminsäureartiger Stoffe nicht gerechnet werden konnte. Ebensowenig von Erfolg war

das Trennungsverfahren mit 5%iger Natronlauge. Der nach Vorbehandlung mit 5%iger HCl und einstündiger Extraktion mit 5%iger NaOH erhaltene Rückstand war, abgesehen von dem unlöslichen Graphit des Kalkstickstoffs, von hellgelber Farbe und zeigte auch bei der Nachbehandlung mit heißem Wasser keine Graufärbung des Extraktes. Es konnte deshalb die Schlußfolgerung gezogen werden, daß unter den im ersten Teil der vorliegenden Arbeit angegebenen Versuchsbedingungen keine Grauhuminsäurebildung erfolgt war.

Untersuchung des Sickersaftes.

Nach Simon (6) sind aus der Beschaffenheit der Sickersäfte weitgehende Rückschlüsse auf die im Miststapel vorgehenden Umsetzungen zu ziehen. Bei der Anstellung von Kunstmistversuchen mit Stickstoffdüngern, die gleichzeitig erhebliche Mengen Kalk enthalten, ist jedoch nicht damit zu rechnen, daß die im Sickersaft enthaltenen Humusformen mit den noch im Stapel

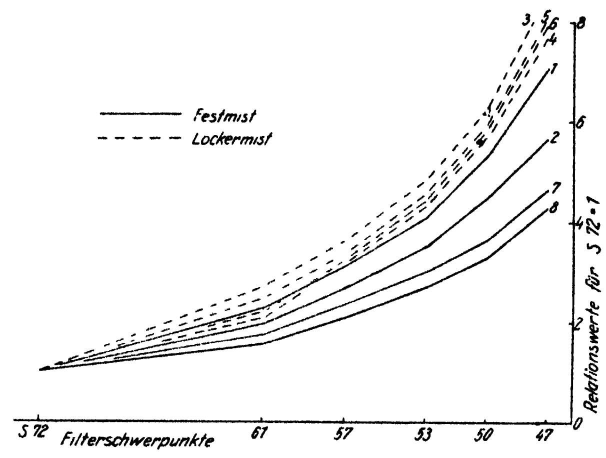


Abb. 4.
Die typischen Farbkurven des Sickersaftes.

befindlichen übereinstimmen. Es können im abfließenden Sickersaft nur solche mitgeführt werden, die zur Zeit des Abflusses in H_2O-löslicher Form vorliegen. Wir können diesen Abfluß als eine H_2O-Extraktion bei niedriger Temperatur bezeichnen. Der stärkste Sickersaftanfall ergab sich nach der Umsetzung, nachdem also 250 Liter Wasser je Grube gegeben waren. Die Menge Sickersaft war bei allen Gruben fast gleich. Erhebliche Unterschiede in der Huminsäurekonzentration wurden durch die Kalkmengen verursacht, da Kalziumhumate im Stapel verblieben. So enthielt der Sickersaft von den Gruben 7 und 8 (schwache Huminsäurebildung mit hoher Kalkgabe) keine Huminsäuren. Die Farbe war gelblichtrübe. Alle anderen Sickersäfte zeigten tief dunkelbraune Farbe, deren Extinktionskoeffizienten mit dem Verbrauch an 0,10 n $KMnO_4$ übereinstimmten.

Der außerordentlich hohe Oxydationswert für 10 ccm Sickersaft der Grube 7 (Tabelle 18) spricht schon, abgesehen von der die Huminsäuregegenwart ausschließenden Farbe, für das Vorhandensein anderer organischer Stoffe. Deshalb ist auch der flache Verlauf der Farbkurve (Abb. 4) nicht als eine Folge hochwertiger Huminsäuren zu deuten. Der Sickersaft von Grube 8 enthielt zwar Huminsäuren, da aber dieser Sickersaft sich ebenso wie der von Grube 7 sehr schlecht filtrieren ließ, so müssen hier gleiche wenig abgebaute Stoffe schleimiger Konsistenz vorliegen.

Tabelle 18.

Farbtiefe und Oxydationswerte der Sickersäfte.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Extinktion k des 1 : 5 verdünnten Sickersaftes	0,299	0,305	0,269	0,437	0,586	0,545	0,208	0,340
Verbrauch an 0,10 ccm n $KMnO_4$ für 10 ccm Sickersaft	16,2	15,8	15,4	25,1	24,0	36,4	30,6	20,6

Zusammenfassung.

In vorliegender Arbeit wurde geprüft, in welcher Weise die verschiedenen Gewinnungsarten bei der Kunstmistbereitung Einfluß auf Menge und Qualität des gebildeten Humus haben. Die zugesetzte Stickstoffmenge betrug 0,7 und 1,4 % N, auf lufttrockenes Stroh berechnet. Der Stickstoff wurde in Form von Kalkstickstoff und Kalkharnstoff verabreicht.

Als Lagerungsarten wurden gewählt:

a) Sofortige feste Lagerung,

b) Heißmistlagerung.

1. Die Gesamtverluste waren

a) bei der Heißvergärung etwa 10 % höher als bei der sofortigen festen Lagerung bei den Misten mit gleicher Stickstoffart und Stickstoffmenge;

b) bei doppelter Stickstoffgabe geringer gegenüber einfacher Stickstoffgabe bei gleicher Stickstoffart und Lagerungsart.

2. Die Bestimmung des gebildeten Humus mittels Azetylbromids ergab bei einfacher N-Gabe und bei der Heißmistbereitung, absolut gerechnet, höhere Werte. Umgerechnet auf Humusgewinn zu Substanzverlust zeigte sich die sofortige Festlagerung dem Heißmist überlegen.

3. Durch die im Kalkstickstoff und im Kalkharnstoff enthaltenen Kalkmengen wurden Unterschiede in bezug auf Bindungsfestigkeit der Huminsäuren beobachtet.

4. Die auf Grund der typischen Farbkurven ermittelten Humusformen waren bei allen Bereitungsarten vollkommen gleich und gehörten dem Typ der Braunhuminsäuren an.

5. Aus den hier erhaltenen Ergebnissen eine Schlußfolgerung für die beste Gewinnungsart bei der Kunstmistherstellung zu ziehen, dürfte verfrüht sein. Zuvor bedarf es noch einer Klärung der Frage, ob wir dem Boden organische Düngung zuführen

wollen, die durch ihr hohes C:N-Verältnis nicht ertragsvermindernd wirkt, aber sonst noch alle pflanzlichen Stoffe in leicht abbaubarer Form enthält, oder ob es zweckmäßiger ist, durch Zufügung weitgehend humifizierten Materials den Boden durch schon fest an Kalk gebundene Humusstoffe in seiner physikalischen Struktur zu verbessern. Bildet durch seine Bakterientätigkeit der Boden selbst aus wenig humifiziertem Material guten und schwerzersetzlichen Humus, so ist es sicherlich vorzuziehen, möglichst viel organische Gesamtmasse als Düngung zu geben. Andererseits wäre es besser, schon sofort bei der Rottelenkung auf eine möglichst gute und mengenmäßig hohe Humifizierung hinzuwirken, wobei allerdings auch der Gesamtverlust berücksichtigt werden muß. Dies sind zwei Probleme, die durch die Mistbereitung allein nicht gelöst werden können. Bei der Ausbildung im Boden ist aber die Bodenart von ausschlaggebender Bedeutung. Eine endgültige Antwort auf diese Fragestellung kann deshalb nur der langjährige Feldversuch erbringen, wobei eine fortlaufende Kontrolle aller im Boden stattfindenden Umsetzungsvorgänge stattfinden muß.

6. Auch im Vergleich zur Arbeit Hesse und Schmalfuß (1) zeigt sich folgende Beziehung: günstiges C:N-Verhältnis und geringste Lagerungsverluste werden erreicht, wenn dem Stroh zur Kunstmistbereitung etwa 1,4 % Stickstoff zugefügt werden. Die Humusbildung ist dabei aber stark gehemmt. Bessere Humusbildung und deshalb auch höheren Zersetzungsgrad zeigen die mit 0,7 % Stickstoffzugaben hergestellten Miste, bei gleichzeitig höher liegenden Substanzverlusten.

Vorliegende Arbeit entstand unter der Leitung von Herrn Professor Dr. Giesecke. Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Giesecke, bin ich für die stete Förderung, die er meiner Arbeit zuteil werden ließ, zu aufrichtigem Dank verpflichtet.

Schrifttum.

1. Hesse, W. u. K. Schmalfuß: Einige Untersuchungen über Kunstmist. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 8, 1938, 355—373.
2. Gordon, M.: Beitrag zur Frage der bei der Torfkompostierung auftretenden Humifizierungsvorgänge. Diss. Univ. Berlin, 1936.
3. Gerdum, E.: Herstellung von „künstlichem Stalldünger". Z. Pflanzenernähr., Düng. und Bodenkunde. Berlin, B, 11, 1932, 249—257.
4. Hesse, W.: Untersuchungen an Kalt-, Stapel- und Heißmist unter besonderer Berücksichtigung der chemischen und bakteriologischen Vorgänge während der Lagerung und der Wirkung auf die Pflanzenproduktion. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, 7, 1938, 303—359.
5. Lemmermann, O., W. Jessen u. H. Engel: Die Bedeutung des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses und anderer chemischen Eigenschaften der organischen Stoffe für ihre Wirkung. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, 17, 1930, 321—355.
6. Simon, K.: Studien zur Humusbeschaffung aus Stallmist. Ebenda, 40, 1935, 178—189.
7. Hock, A.: Farbentiefen- und Farbtonwerte als charakteristische Kennzeichen für Humusform und Humustyp in Böden nach neuen Verfahren. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, 2, 1937, 304—317.

8. Simon, K.: Über die Herstellung von Humusextrakten mit neutralen Mitteln. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenk. Berlin, A, **14**, 1929, 252—257.
9. Siegel, O.: Die Bestimmung der humifizierten Substanz im Stallmist. Fortschritte der landwirtschaftlichen chemischen Forschung. Forschungsdienst, Sonderheft 7, Berlin, 1937, 135—143.
10. Hock, A.: Beziehungen zwischen Konzentration und Farbwerten von Huminsäurelösungen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **7**, 1938, 99—117.
11. Springer, U.: Zur Kenntnis der Bindungsformen der Humusstoffe, besonders in Waldböden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, **45**, 1936, 327—352.
12. Springer, U.: Die Bestimmung der organischen Substanz in Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, **11**, 1928, 313—359.
13. Siegel, O.: Grundlagen zur zweckmäßigsten Stalldüngerbereitung unter bäuerlichen Verhältnissen. Ebenda, **43**, 1936, 186—220.
14. Simon, K.: Die charakteristischen Humusstoffe, ihre Beurteilung und ihre Bedeutung im Stalldünger. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **1**, 1936, 257—301.
15. Hock, A.: Weitere Untersuchungen zur Humuscharakterisierung im Boden. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **5**, 1937, 1—2.
16. Frömel, W.: Über Absorptionsspektren von Huminsäuren in Lösungen. Ebenda, **6**, 1937, 93—117.
17. Springer, U.: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. Ebenda, **6**, 1938, 312—373. [266]

Über den Einfluß der Kationenbelegung auf die Farbtiefe der Humusstoffe.

Von **G. Halfter.**

Aus der Landw.-chem. Anstalt der Univ. Jena*).

Leiter: Prof. Dr. F. Scheffer.

Eingegangen: 2. März 1939.

A. Einleitung.

Zur Beurteilung des Humusgehaltes eines Bodens ist die dunkle Farbe desselben ein Hilfsmittel, welches uns erlaubt, den ungefähren Gehalt an Humusstoffen zu erkennen. Man geht dabei von der Voraussetzung aus, daß je nach dem Grade der Dunkelfärbung der Humusgehalt ein anderer sei. L. Pozdena (1) hat bei einem größeren Bodenmaterial Untersuchungen über diese Frage angestellt, er kommt jedoch zu dem Schluß, daß eine bloße Beurteilung des Humusgehaltes nach der Schwarzfärbung höchst unsichere Ergebnisse liefert. Selbst unter Zuhilfenahme der Ostwaldschen Farbenfibel, die eine subjektive Beurteilung der Farbtöne ausschließt, ist eine Schätzung des Humusgehaltes nach den oben genannten Gesichtspunkten recht ungenau. Ganz allgemein kann man sagen, daß der Humusgehalt nach der Färbung des Bodens nicht einwandfrei beurteilt werden kann, da je nach dem Wassergehalt, dem Eisengehalt, der Korngröße und der Beleuchtung bei gleichem Humusgehalt das Ergebnis starken Schwankungen unterliegt.

Es würde deshalb zweifellos ein großer Fortschritt sein, wenn nicht die Bodenfarbe als Kriterium für den Humusgehalt herangezogen würde, sondern, wenn es gelänge, den Humus aus dem Boden ohne chemische Eingriffe herauszulösen. Zudem ist zu berücksichtigen, daß der Humus keine einheitliche chemische Verbindung darstellt, sondern ein Gemisch aus den verschie-

*) Diss. Univ. Jena 1939.

densten organischen Substanzen, die in dauernder Umwandlung und Zersetzung begriffen sind. Schon diese Überlegung macht es wahrscheinlich, daß man aus der Farbtiefe, die man mit irgendeinem Extraktionsmittel erhalten hat, nur mit grober Annäherung den Humusgehalt des Bodens ermitteln kann.

Sven Odén (2) fand, daß mit zunehmender Humifizierung eine Farbvertiefung der Extrakte, die man mit Natronlauge erhält, Hand in Hand geht. Simon (3) kommt auf Grund seiner Forschungen zu demselben Ergebnis, wenn er schreibt: „Die Fähigkeit, stark gefärbte Extrakte zu liefern, ist das Merkmal fortgeschrittener Humifizierung."

Abgesehen von dieser Schwierigkeit scheint selbst die grundlegende Voraussetzung der kolorimetrischen Humusbestimmung nicht erfüllt zu sein, nämlich die, daß Huminsäuren verschiedener Herkunft die gleiche Farbtiefe besitzen. So ergaben nach Soucis (4) Untersuchungen einige gereinigte Huminsäurepräparate ganz auseinanderliegende Farbwerte. Auch Springer (5) und Hock (6) konnten dieselbe Feststellung treffen. Hock fand z. B., daß sich Huminsäuren, die er aus verschiedenen Bodentypen herstellte, hinsichtlich der Farbtiefe und des Farbtons sehr unterschiedlich verhalten. So fand er, daß Huminsäure aus Schwarzerde viermal so stark anfärbt als Acidum huminicum Merck (bei gleicher Einwaage an C). Hieraus ist ersichtlich, daß man unter Zugrundelegung von Acidum huminicum Merck als Standardpräparat in der Auswertung große Fehler machen kann. Die kolorimetrische Huminsäurebestimmung wäre nur dann möglich, wenn die Farbtiefen der einzelnen Huminsäuregruppen gegen Acidum huminicum Merck bekannt wären, so daß man durch die Anwendung eines Faktors eine Berechnung durchführen könnte.

Es war ein großer Fortschritt, als die Absolutkolorimetrie eingeführt wurde. Mit deren Hilfe ist es nicht nur möglich, die Farbtiefe zu bestimmen, sondern auch den Farbton. Unter der Farbtonzahl wird entweder nach Hock (7) der Quotient aus den Extinktionskoeffizienten extremer Filtergrundfarben verstanden, z. B. $\frac{kF8}{kF3}$ oder nach Springer (8) der Differenzwert zweier möglichst weit auseinander liegender Extinktionskoeffizienten, z. B. $\frac{kF8-kF3}{kF5}$. Bei gutem Humuszustand erhält man niedrige, bei schlechtem hohe Werte. Zur eingehenden Analyse und noch besseren Kennzeichnung der Humusform werden die Farbkurven gezeichnet, die Hock dadurch erhält, daß er auf der Ordinate die Farbtonzahl, auf der Abszisse die Filterschwerpunkte aufträgt, während Springer zur Vermeidung von Kurvenüberschneidungen auf der Ordinate die log k-Werte aufträgt.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Anwendung der kolorimetrischen Bestimmung ist die Proportionalität zwischen Lichtabsorption und dem Gehalt an absorbierenden Bestandteilen, wie sie im Beerschen Gesetz zum Ausdruck kommt. Nach Untersuchungen von Ostwald und Steiner (9), U. Springer (10), A. Hock (11) trifft das für Huminsäuren in vollem Umfange zu.

Als Extraktionsmittel für die Humussubstanz im Boden ist eine ganze Reihe von Stoffen herangezogen worden, die alle mehr oder weniger nur einen Teil der organischen Substanz erfassen. Die Tatsache, daß Boden mit Natronlauge eine braune Lösung gibt, ist schon Vauquelin (1797) bekannt gewesen. Da nach den Untersuchungen von U. Springer (12) eine Abschwächung der Farbe und Zersetzung unter dem Einfluß der Natronlauge eintritt, ist die Konzentration an Natronlauge von großem Einfluß auf die Farbtiefe der Extrakte. So wird z. B. die in Schwarzerden vorkommende Grauhuminsäure bei zu hoher Konzentration an Natronlauge nicht quantitativ gelöst. Es ist daher empfehlenswert, möglichst niedrige Konzentration an Natronlauge zu verwenden. A. Hock (13) hat bei seinen Versuchen festgestellt, daß bei einem Ansatzverhältnis Boden : Lösung wie 1 : 10 bei 0,5 %iger Natronlauge das Maximum an färbenden Stoffen erzielt wird. Bei Braunerde wird sogar schon eine 0,25 %ige Lösung das Maximum erreichen.

Auch aus einem anderen Grunde ist es empfehlenswert, bei möglichst geringer Konzentration an Natronlauge zu arbeiten, da nach Souci (14) die

Zersetzung der Humate mit steigender OH-Konzentration zunimmt und damit die Farbtiefe sich verringert. Man findet also bei zu hoher Natronlaugekonzentration auf kolorimetrischem Wege zu geringe Werte.

Simon (15) hatte gefunden, daß die Salze der kalkfällenden Säuren (Natriumoxalat, Natriumfluorid) geeignet sind, um Huminsäuren bei sehr milden Bedingungen zu extrahieren. Die auf diese Art hergestellten Präparate sind gegen Acetylbromid sehr widerstandsfähig im Gegensatz zu den mit Natronlauge gewonnenen. Es schien daher naheliegend, Oxalate und Fluoride zur kolorimetrischen Bestimmung des Humus im Boden zu verwenden. Diese Arbeitsweise hat den Vorteil, daß nur die echten Humusstoffe gelöst werden, während Natronlauge auch Zwischenprodukte der Humifizierung erfaßt. Die verschiedenartige Wirkung von Alkalien und Neutralsalzen ist besonders aus den Arbeiten von Stadnikoff (16) ersichtlich. Dieser stellte fest, daß beim Behandeln der Huminsäuren mit Bariumazetat nur der Wasserstoff der Carboxylgruppen substituiert wird. Bei Anwendung von Bariumhydroxyd tritt dagegen zusätzlich eine Verseifung der Methoxylgruppen ein. In gleicher Weise wie das Bariumhydroxyd wirkt auch die Natronlauge, während zu bedenken ist, daß man beim Arbeiten mit Bariumhydroxyd meist n/25-Lösungen anwendet, dagegen verwendet man beim Kolorimetrieren 0,5 $^0/_0$ ige Natronlauge entsprechend $>$ n/10! Zudem ist Natronlauge viel stärker dissoziiert als Bariumhydroxyd. Es ist also verständlich, daß neben einer Verseifung noch eine zersetzende Wirkung der Natronlauge auftreten kann. Auch Scheele und Mitarbeiter (17) kommen auf Grund von konduktometrischen Messungen zu dem Schluß, daß durch die Einwirkung von Lauge eine Zersetzung der Humusstoffe stattfindet, wobei wasserlösliche Zersetzungsprodukte entstehen. Desgleichen kommt Jung (18) auf Grund von Leitfähigkeitsmessungen zu dem Ergebnis, daß alkalisch und neutral hergestellte Huminsäuren sich in bezug auf Leitfähigkeit sehr verschieden verhalten. Auf Grund obiger Erwägung führte Simon die Anwendung von Natriumoxalat in die Kolorimetrie der Humusstoffe ein. Liegen Kalziumhumate vor, so tritt folgende Umsetzung ein:

$$\text{Na-ox.} + \text{Ca-humat} = \text{Ca-ox.} + \text{Na-humat.}$$

Es handelt sich hier also um einen Ionenaustausch. An Stelle von Kalzium tritt das Natrium in den Humuskomplex ein, das als Natriumhumat wasserlöslich ist. Aus der oben angeführten Gleichung erkennt man, daß um so mehr Alkalihumat entstehen wird, je mehr Kalzium am Humuskomplex sorbiert ist. Da die Natriumhumate stark hydrolysiert sind, wird also die Reaktion um so mehr über den Neutralpunkt hinausgehen, je größer die umtauschbare Menge an Kalzium ist. Die Veränderung der Reaktion kann also bei Böden mit hohem Kalziumgehalt recht groß sein, so daß die milden Bedingungen bei der Extraktion des Humus mehr oder weniger wegfallen. Besonders bei kalziumkarbonathaltigen Böden kann die Verschiebung im pH sehr groß werden, da sich durch die Umsetzung von Natriumoxalat und Kalziumkarbonat mehr oder weniger große Mengen Natriumkarbonat bilden, wie das auch Simon bei seinen Arbeiten beobachtet hat.

Für die Extraktion mit Natriumoxalat wird eine Lösung von 1 $^0/_0$ vorgeschlagen. Nach Hock (19) und nach Pozdena (20) wird bei dieser Konzentration das Maximum an Farbtiefe erreicht. Das ist aus theoretischen Gründen leicht erklärlich. Da das Verhältnis von Boden : Lösung kaum enger als 10:1 ist, kommen demnach auf 10 g Boden 100 cm^3 1 $^0/_0$ iger Natriumoxalatlösung entsprechend 15 mval. Da nun der T-Wert der Böden selten über 30 mval je 100 g gleich 3 mval je 10 g beträgt, ist also ein hoher Oxalatüberschuß vorhanden, so daß vorhandenes Kalzium ausgefällt werden kann. Größere Mengen an Oxalat führen zu keiner Steigerung der Farbtiefe, sondern vielmehr zur Depression.

Problemstellung.

Da die kolorimetrische Bestimmung äußerst einfach zu handhaben ist und sich sehr gut Massenanalysen durchführen lassen, hat sie in den letzten Jahren steigende Anwendung gefunden.

Es ist aber notwendig, die Methodik auf eine sichere Basis zu stellen. Nach dem heutigen Stande ist noch manches zu klären. Die verschiedensten Faktoren können die Farbtiefe der Extrakte stark beeinflussen. Besonders ist die Art des Ionenbelages von entscheidendem Einfluß auf die Farbtiefe der Extrakte und zwar sowohl der mit Lauge als auch mit Oxalat oder Fluorid hergestellten.

Schon Sven Odén (21) wies in seinen Arbeiten darauf hin, daß man beim Isolieren der Humusstoffe mit Natronlauge aus dem Boden erst die Kationen entfernen müsse und zwar durch Behandlung mit Salzsäure. Man bekäme sonst ein falsches Bild von der im Boden vorhandenen Menge an Humusstoffen. Auch Stadnikoff (22) hat es klar erkannt und faßt seine Ergebnisse folgendermaßen zusammen: „Das Resultat einer Extraktion der Huminsäuren mit Natriumkarbonat wird von der Korrelation der freien Huminsäuren und ihrer unlöslichen Salze (vor allem der Kalziumsalze) im Torf abhängen. Bei gleichem Humifizierungsgrad, aber verschiedenem Aschengehalt werden die Auszüge der Huminsäuren verschieden sein."

Leider hat man in den neueren Arbeiten diese Tatsache außer acht gelassen, obwohl von Springer (23) darauf hingewiesen wurde, daß die höchste Farbtiefe mit Natronlauge erst dann erzielt wird, wenn die Humate als Wasserstoffhumate vorliegen. Außer der grundlegenden Arbeit von Springer: „Über die Bindungsformen der Humusstoffe besonders in Waldböden" ist wenig über den Einfluß des Ionenbelages auf die Farbtiefe gearbeitet worden. Es wurden deshalb eigene Versuche angestellt, die den Einfluß der im Boden vorherrschenden Ionen auf die Farbtiefe mit den Extraktionsmitteln Natronlauge und Natriumoxalat klären sollten. Für diese Versuche wurden zunächst Modellsubstanzen herangezogen. Im Boden sind die Verhältnisse besonders deswegen verwickelt, weil neben einem organischen Sorptionskomplex auch noch ein anorganischer Sorptionsträger vorhanden ist. Zwischen den beiden Sorptionskomplexen kann noch eine mehr oder weniger feste Bindung bestehen, wie neuere Versuche gezeigt haben. Diese Bindungsverhältnisse können durch Zusatz von Lauge mehr oder weniger stark geändert werden, so daß ein Auswerten von solchen kolorimetrischen Bestimmungen ohne Vorhandensein von Versuchen an reinen Komponenten sehr schwierig sein würde.

B. Experimenteller Teil.

I. Versuche zur Ermittlung der maximalen Farbtiefe beim Auszug mit Natronlauge.

Es kamen folgende Modellsubstanzen zur Anwendung:

1. Acidum huminicum Merck,
2. Kasseler Braun,
3. Rohstoff (Braunkohle),
4. Torf.

Diese angeführten Substanzen wurden schon von Bach (24) im hiesigen Institut beim Studium verschiedenen Ionenbelages auf die Hygroskopizität angewandt. Die mit verschiedenen Ionen

mehr oder weniger abgesättigten Humate wurden von uns zunächst für die kolorimetrischen Untersuchungen herangezogen. Die Humate waren 6 Monate in verschlossenen Glasflaschen aufbewahrt worden. Es stellte sich aber bald heraus, daß die Alkalihumate, die in fester Form aufbewahrt wurden, sich im Laufe der Zeit verändert haben mußten, da die Farbtiefen dieser Produkte bedeutend niedriger waren als diejenigen, die frisch bereitet worden waren. Aus diesem Grunde wurden die Untersuchungen an frisch hergestellten Produkten durchgeführt.

Zunächst wurde der Einfluß von steigenden Mengen Natronlauge auf die Löslichkeit geprüft. Es sollte dabei herausgefunden werden, wie sich die Farbtiefe mit steigendem Zusatz von Lauge und Oxalat ändert und bei welchem Zusatz das Maximum an Farbtiefe erzielt wird. Da es sich zum Teil um stark färbende Substanzen handelt, mußte ein weites Ansatzverhältnis gewählt werden.

Wir wählten in unserem Falle ein solches von 1 : 100. Es wurde jeweils 1 g Substanz eingewogen und nach Zusatz von 100 cm^3 Lösung 24 Stunden stehen gelassen und 3 Stunden geschüttelt.

Es wurde zunächst versucht, durch Zentrifugieren eine Abtrennung der festen Stoffe zu erreichen. Dabei wurde jedoch festgestellt, daß selbst bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 3000 Touren in der Minute und einer Dauer von 30 Minuten keine genügend klare Lösung erhalten wurde. Vollkommen klare Lösungen erhält man durch eine Filtration mit dem Membranfilter. Als Filter wurde „Membranfilter fein" gewählt. Die kolorimetrische Bestimmung wurde sofort nach der Filtration ausgeführt. Die Küvettenlänge richtet sich nach der Färbung der betreffenden Lösung. Da trotz des weiten Ansatzverhältnisses die Farbtiefe noch zu stark war, um direkt gemessen zu werden, wurden die Lösungen noch bis aufs Fünffache bzw. Zehnfache verdünnt.

Als Photometer wurde das Pulfrich-Photometer von Zeiß verwendet, mit welchem Absolutmessungen durchzuführen sind.

Tabelle 1.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Acidum huminicum Merck mit steigenden Mengen Natronlauge.

Zugesetzte Menge in mval	Extinktionskoeffizient k: ohne zusätzliche Natronlauge	Extinktionskoeffizient k: mit zusätzlicher Natronlauge	k maximal = 100
1	1,50	2,75	16,60
2	3,75	6,50	41,60
3	5,50	8,00	61,10
4	7,50	9,00	83,30
5	8,10	9,00	90,00
6	8,50	9,00	94,00
7,5	9,00	9,00	100,00
10	9,00	9,00	100,00

In Abbildung 1 und Tabelle 1 ist die Veränderung der Farbtiefe bei steigender Menge Natronlauge angegeben. Die Farbtiefe wurde mit dem Extinktionskoeffizienten angegeben. Da aus den Untersuchungen von Simon (25) und von Souci (26) hervorgeht, daß der pH-Wert der Huminsäurelösung von großem Einfluß auf die Farbtiefe ist, haben wir je 2 Messungen durchgeführt und zwar ohne und mit nachträglichem Zusatz von einigen Tropfen starker Natronlauge zum Auszug. Die gestrichelte Kurve gibt die Farbtiefe wieder, wenn der Extrakt stärker alkalisch gemacht wurde. Souci (27) erklärt die Tatsache der Farbzunahme damit, daß ein Übergang vom kolloidalen zum molekulardispersen

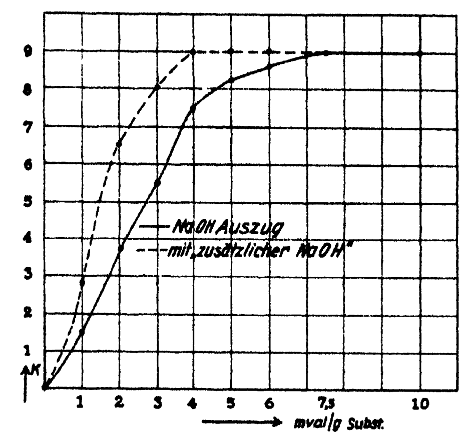


Abb. 1.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Acidum huminicum Merck mit steigenden Mengen Natronlauge.

Zustand erfolgt, der eben mit einer Farbvertiefung verbunden sein soll. Demnach müßten die sauren Humate mehr in kolloidaler Form vorliegen, während durch die vollkommene Absättigung der Wasserstoffionen ein mehr oder minder starker Übergang in den molekulardispersen Zustand erfolgt. Im Gegensatz dazu gehen Simons (28) Anschauungen dahin, daß Huminsäuren als tautomere Körper zu betrachten sind, die sowohl in der Aciform als auch in der Ketoform auftreten können und miteinander im umkehrbaren Gleichgewicht stehen. Durch intramolekulare Umlagerungen sollen dann chromophore Gruppen entstehen, die die Farbzunahme bewirken. Aus der Abbildung 1 geht hervor, daß die Zunahme der Farbtiefe bis zu 4 mval Natronlauge stark ansteigt, während dann die Zunahme langsamer erfolgt. Da der T-Wert der Huminsäure 6,8 mval je g/Substanz beträgt, würde das also bedeuten, daß die stärkste Zunahme der Farbtiefe bis zu einer Absättigung von rund 50% erfolgt, unter der Annahme einer vierbasischen Säure (Sven Odén), also bis zur Bildung der sekundären Salze. Bei 4 mval Zusatz beträgt die Färbung 83% der maximalen Farbtiefe.

Auch bei Anwendung von Rohstoff und Kasseler Braun wurde bei einem Natronlaugezusatz, der ungefähr der Hälfte der T-Werte entspricht, die maximale Farbtiefe nach Zugabe von „zusätzlicher

Tabelle 2.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Kasseler Braun mit steigenden Mengen Natronlauge.

Zugesetzte Menge in mval	Extinktionskoeffizient k		k maximal = 100
	ohne zusätzliche Natronlauge	mit zusätzlicher Natronlauge	
1	1,70	3,00	14,10
2	5,00	7,80	41,50
3	8,50	11,50	70,80
4	10,50	13,00	87,50
5	11,50	13,00	95,80
6	11,50	13,00	95,80
7,5	12,00	12,00	100,00
10	12,00	12,00	100,00

Tabelle 3.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Rohstoff mit steigenden Mengen Natronlauge.

Zugesetzte Menge in mval	Extinktionskoeffizient k		k maximal = 100
	ohne zusätzliche Natronlauge	mit zusätzlicher Natronlauge	
1	1,10	1,70	13,80
2	3,00	5,00	37,50
3	4,50	6,60	60,00
4	5,80	7,70	72,50
5	7,00	8,50	87,50
6	7,50	8,50	93,70
7,5	8,00	8,00	100,00
10	8,00	8,00	100,00

Natronlauge“ erzielt. Rohstoff und Kasseler Braun unterscheiden sich nur darin von Huminsäure Merck, daß die maximale Extinktion bei „zusätzlicher Natronlauge“ höher ist als ohne Zusatz, wie aus Abbildung 2 und 3 hervorgeht. Die Begründung liegt sicherlich darin, daß bei hoher Natronlaugekonzentration (10 mval) infolge der langen Einwirkungsdauer von 24 Stunden eine Abnahme der Farbtiefe eintritt, während der „zusätzliche“ Natronlaugezusatz kurz vor der Messung erfolgte, so daß innerhalb der kurzen Zeit keine Zersetzung eintreten konnte. Der Anstieg der Farbtiefe mit Natronlaugezusatz ist bei den drei untersuchten Stoffen Huminsäure Merck, Rohstoff und Kasseler Braun ein ähnlicher, wenn sich auch die maximalen Farbtiefen unterscheiden. Torf verhielt sich bei diesen Versuchen insofern anders, als der Laugeextrakt nicht den beschriebenen Anstieg der Farbtiefe bei Zugabe von „zusätzlicher Natronlauge“ zeigte.

Überblicken wir die an den vier organischen Substanzen ausgeführten Versuche, so können wir feststellen, daß zur Erzielung der maximalen Farbtiefe mindestens 7,5 mval Natronlauge erforderlich sind bei einer Einwaage von 1 g Substanz. Das ist eine Menge, die im großen und ganzen mit dem T-Wert der organischen Substanzen übereinstimmt.

Versuche zur Ermittlung der maximalen Farbtiefe beim Auszug mit Oxalaten.

Nachdem wir die Verhältnisse mit Natronlauge untersucht hatten, gingen wir dazu über, dieselben Versuche beim Zusatz von Oxalat auszuführen. Da nach Pozdena (29) die Natur des

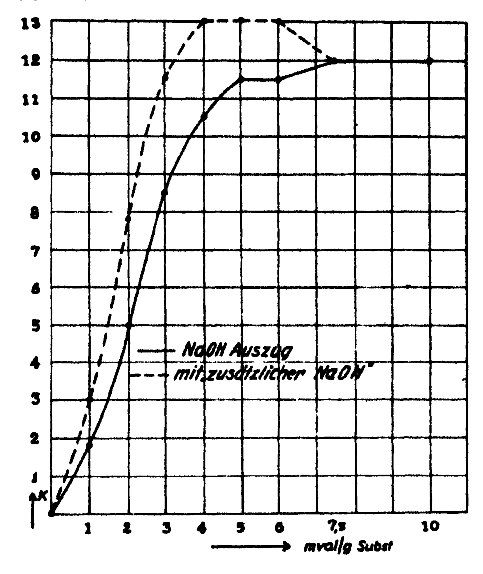


Abb. 2.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Kasseler Braun mit steigenden Mengen Natronlauge.

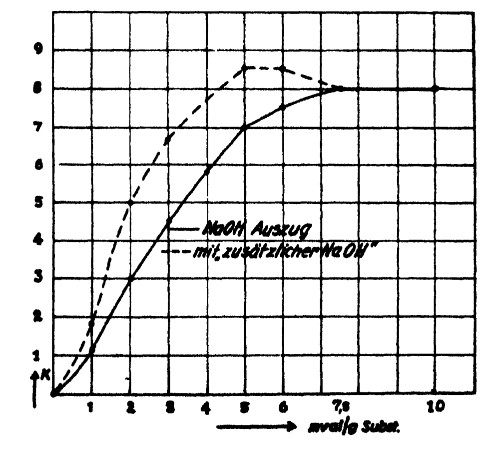


Abb. 3.
Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Rohstoff mit steigenden Mengen Natronlauge.

einwirkenden Kations einen Einfluß auf die Farbtiefe hat, wurden die Oxalate der Alkalimetalle Lithium, Natrium und Kalium zur Anwendung gebracht. Nach Pozdenas Ergebnissen ergibt eine Extraktion mit Natriumoxalat eine tiefere Färbung als eine mit Kaliumoxalat. Wesentlich dabei ist allerdings, daß er die Salze nicht im Verhältnis ihrer Äquivalentgewichte anwendete, sondern immer 1 %ige Lösungen verwendet. Da sich die Ionen bei Kolloiden in

äquivalenten Mengen umsetzen, wurden bei den eigenen Versuchen die Oxalate in äquivalenten Mengen zur Anwendung gebracht. Eine 1 %ige Natriumoxalatlösung enthält z. B. 15 mval in 100 cm^3, während die entsprechende Kaliumoxalatlösung rund 12 mval enthält.

Tabelle 4.

Zunahme der Farbtiefe bei der Extraktion von Torf mit steigenden Mengen Natronlauge.

Zugesetzte Menge in mval	Extinktionskoeffizient k ohne zusätzliche Natronlauge	Extinktionskoeffizient k mit zusätzlicher Natronlauge	k maximal = 100
1	0,31	0,33	15,50
2	0,90	0,90	45,00
3	1,46	1,46	70,30
4	1,76	1,76	88,00
5	1,88	1,88	94,00
6	1,90	1,90	95,00
7,5	2,00	2,00	100,00
10	2,00	2,00	100,00

Tabelle 5.

Farbtiefe von Acidum huminicum Merck extrahiert mit steigenden Mengen Lithium-, Natrium- und Kaliumoxalat.

Zugesetzte Menge in mval.	Kaliumoxalat		Natriumoxalat		Lithiumoxalat	
		+NaOH		+NaOH		+NaOH
2	0,03	0,15	0,12	0,37	0,25	0,75
4	0,07	0,25	0,45	1,30	0,80	1,80
8	0,15	0,47	0,90	2,30	1,25	3,00
20	0,32	0,97	1,04	2,40	1,40	3,20
40	0,33	0,97	0,93	2,40	1,30	3,00

Tabelle 6.

Farbtiefe von Kasseler Braun extrahiert mit steigenden Mengen Lithium-, Natrium- und Kaliumoxalat.

Zugesetze Menge in mval.	Kaliumoxalat		Natriumoxalat		Lithiumoxalat	
		+NaOH		+NaOH		+NaOH
2	0,07	0,22	0,19	0,50	0,72	1,50
4	0,20	0,60	1,00	2,30	2,10	4,51
8	0,70	2,00	2,30	5,00	3,90	8,58
20	2,40	5,60	3,20	7,10	5,00	11,00
40	2,60	6,00	3,50	8,00	5,20	12,00

Um den Einfluß der verschiedenen Oxalate auf die Farbtiefe zu zeigen, ist deren Abhängigkeit in Abbildung 4 graphisch dargestellt. Da die drei organischen Substanzen sich prinzipiell gleich verhalten, wurde nur Kasseler Braun graphisch dargestellt. Aus der Abbildung 4 geht hervor, daß die Farbtiefe mit steigenden Mengen an Oxalaten erheblich zunimmt. Bei 20 mval ist die maximale Farbtiefe im allgemeinen erreicht.

Tabelle 7.
Farbtiefe von Rohstoff extrahiert mit steigenden Mengen Lithium-, Natrium- und Kaliumoxalat.

Zugesetzte Menge in mval.	Kaliumoxalat		Natriumoxalat		Lithiumoxalat	
		+NaOH		+NaOH		+NaOH
2	0,17	0,35	0,40	0,80	0,80	1,60
4	0.50	1,30	1,20	2,70	1,60	3,70
8	1,20	2,70	2,00	4,60	2,40	5,50
20	1,90	5,00	2,40	5,50	3,20	7,50
40	2,00	5,00	2,40	5,50	3,20	7,50

Wie Hock (30) und Pozdena (31) festgestellt haben, führt eine weitere Erhöhung der Konzentration zu einer Verringerung der Farbtiefe, was Souci (32) damit erklärt, daß ein großer Überschuß an Salzen flockend auf die Humate wirkt.

Aus den Zahlen ist weiterhin ersichtlich, daß die Reihenfolge der Farbtiefe im Sinne der lyotropen Reihe erfolgt, daß bei Zusatz von Lithiumoxalat die stärkste und beim Kaliumoxalat die

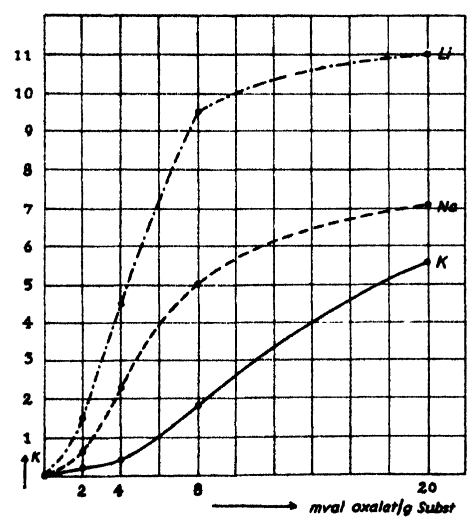


Abb. 4.
Farbtiefe von Kasseler Braun extrahiert mit steigenden Mengen Lithium-, Natrium-, Kaliumoxalat.

geringste Farbtiefe erzielt wird, obgleich der Eintausch des Lithiums am geringsten ist. Dieser Effekt wird aber dadurch überlagert, daß die Hydratisation der Ionen in umgekehrten Verhältnis steht. Lithium ist am stärksten, Kalium am schwächsten hydratisiert. Damit steht im Zusammenhang, daß Lithiumsalze stärker dispergierend wirken als Kaliumsalze. Die Unterschiede der Farbtiefen sind dadurch leicht erklärlich. Natrium nimmt in seinem Verhalten eine Mittelstellung ein. Wie bei der Extraktion mit Natronlauge, so tritt auch bei der Verwendung von Oxalat eine farbvertiefende Wirkung bei zusätzlicher Natronlauge ein mit dem Unterschiede, daß die Farbzunahme hier noch größer ist. Die Farbtiefe nimmt in den meisten Fällen um über das Doppelte zu.

Versuche an Modellsubstanzen mit verschiedenem Kalziumgehalt bei der Extraktion mit Lauge und Oxalat.

Nachdem nun auch durch eigene Versuche in Übereinstimmung mit deren Schrifttumsangaben bestätigt wurde, daß bei dem gewählten Ansatzverhältnis und der Konzentration von 0,5 % Natronlauge bzw. 1 % Natriumoxalat die maximale Farbtiefe erzielt wurde, konnte nun daran gegangen werden, den Einfluß der Ionen an Modellsubstanzen zu prüfen.

Dabei gingen wir so vor, daß wir zu den organischen Substanzen, deren T-Wert uns bekannt war, steigende Mengen Kalziumhydroxyd zusetzten und zwar zu 1, 2, 3, 4, 5, 6 mval/g Substanz.

Es wurden zu diesem Zwecke 2 g organische Substanz eingewogen, die entsprechende Menge Kalziumhydroxyd in fester Form zugefügt und mit 100 cm^3 H_2O versetzt. Darauf ließen wir unter öfterem Umschütteln die Stoffe drei Tage miteinander reagieren. Das Ende der Reaktion war meist schon nach 24 Stunden erreicht. Danach wurden in jedem Kolben 100 cm^3 1 %ige Natronlauge bzw. 100 cm^3 2 %iger Natriumoxalatlösung hinzugefügt, so daß die Endkonzentration wieder 0,5 % Natronlauge bzw. 1 % Natriumoxalat betrug. Nach der üblichen Einwirkungsdauer von 24 Stunden wurde filtriert und im Pulfrich-Photometer gemessen. Diese Untersuchungen sind in den Tabellen 8—10 und Abbildungen 5—7 niedergelegt.

Tabelle 8.

Farbtiefe von Acidum huminicum Merck abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Lauge (0,5 %) und Oxalat (1 %).

Zugesetzte Menge mval $Ca(OH)_2$	Extinktionskoeffizient k des NaOH-Auszuges	Extinktionskoeffizient k		Stabilitätsfaktor $\frac{k\ Oxalat}{k\ Lauge}$
		des Oxalatauszuges	+ zusätzlicher Natronlauge	
0	9,00	0,72	1,80	0,08
1	9,00	1,90	3,60	0,21
2	7,80	3,00	4,50	0,38
3	5,00	4,90	5,80	0,98
4	2,30	6,50	7,50	2,82
5	1,60	7,50	7,50	4,68
6	0,30	7,50	7,50	25,00

Tabelle 9.

Farbtiefe von Kasseler Braun abgesättigt mit absteigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Lauge (0,5 %) und Oxalat (1 %).

Zugesetzte Menge mval $Ca(OH)_2$	Extinktionskoeffizient k des NaOH-Auszuges	Extinktionskoeffizient k		Stabilitätsfaktor $\frac{k\ Oxalat}{k\ Lauge}$
		des Oxalatauszuges	+ zusätzlicher Natronlauge	
0	13,00	3,50	8,50	0,27
1	13,00	6,10	9,90	0,47
2	13,00	8,20	11,00	0,63
3	10,40	9,60	11,00	0,92
4	5,00	10,00	11,00	2,00
5	1,20	11,00	11,00	9,10
6	0,05	11,00	11,00	220,00

Tabelle 10.
Farbtiefe von Torf abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Lauge (0,5%) und Oxalat (1%).

Zugesetzte Menge mval $Ca(OH)_2$	Extinktionskoeffizient k des NaOH-Auszuges	Extinktionskoeffizient k des Oxalatauszuges	Extinktionskoeffizient k + zusätzlicher Natronlauge	Stabilitätsfaktor $\frac{k \text{ Oxalat}}{k \text{ Lauge}}$
0	2,00	0,07	0,07	0,03
1	1,70	0,30	0,30	0,17
2	0,62	0,60	0,60	0,96
3	0,17	1,00	1,00	5,88
4	—	1,50	1,50	—
5	—	2,00	2,00	—

Verfolgen wir zunächst den Verlauf der Natronlaugeextraktion, so müssen wir feststellen, daß in allen Fällen die Farbtiefe mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd stark abnimmt. Beim Torf tritt dieser Rückgang schon bei kleinen Mengen Kalziumhydroxyd auf, dagegen ist bei Huminsäure Merck und Kasseler Braun eine größere Menge notwendig. Durch eine Zugabe von 4 mval Kalziumhydroxyd ist beim Torf die Extinktion praktisch auf Null heruntergedrückt, während bei Huminsäure Merck und Kasseler Braun dazu 6 mval nötig sind. Wahrscheinlich hängt dieser Unterschied damit zusammen, daß Torf schon eine gewisse Menge sorbiertes Kalzium enthält.

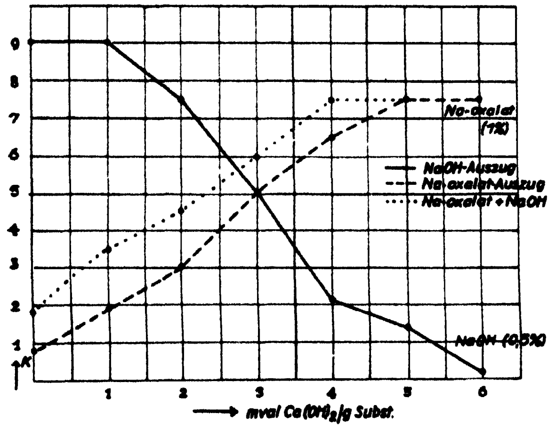


Abb. 5. Farbtiefe von Acidum huminicum Merck abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Natronlauge (0,5%) und Natriumoxalat (1%).

Wie aus der Arbeit von Zöberlein (33) hervorgeht, setzt sich eine zugefügte Menge Bariumhydroxyd nicht restlos mit den Humusstoffen um. Vielmehr bleibt eine Menge immer in Lösung, was an Hand von Versuchen auch für Kalzium nachgewiesen wurde. Das ist aber für die vorliegenden Versuche nicht von Belang, da das überschüssige Kalziumhydroxyd bei der nachfolgenden Extraktion mit Natronlauge im System verbleibt.

Bei der Extraktion mit Oxalat tritt der entgegengesetzte Effekt auf. Mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd ist ein Anstieg der Farbtiefe verbunden. Es wurde auch hier wieder die

extrahierte Lösung mit zusätzlicher Natronlauge versetzt. Die so erhaltenen Werte sollen im folgenden besprochen werden, da sie das richtige Maß für die Humatlöslichkeit angeben.

Wenn wir zunächst die ohne Laugezusatz erzielten Farbtiefen betrachten, so können wir feststellen, daß bei allen untersuchten Stoffen das Maximum beim Zusatz von 5 mval Kalziumhydroxyd erreicht wird. Wird der Extrakt mit zusätzlicher Natronlauge versetzt, so tritt das Maximum bei Kasseler Braun schon bei 2 mval, bei Huminsäure Merck dagegen erst bei 4 mval Kalziumhydroxyd ein. Da beim Oxalatauszug durch Zusatz von 4 mval Kalziumhydroxyd eine äquivalente Menge Natronlauge, also ebenfalls 4 mval, entsteht, ist dieser Befund erklärlich.

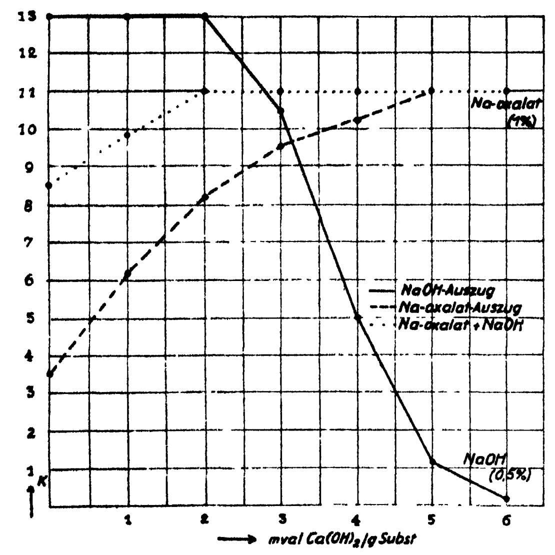


Abb. 6.
Farbtiefe von Kasseler Braun abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Natronlauge (0,5 %) und Natriumoxalat (1 %).

Auch beim Torf nimmt mit steigendem Kalziumhydroxydzusatz die Farbtiefe bei Oxalat zu. Der Maximalpunkt wird durch 5 mval Kalziumhydroxyd erreicht, der ebenfalls mit dem übereinstimmt, wie er bei Zusatz von steigenden Mengen Natronlauge zu unbehandeltem Torf erzielt wird. Eine Erhöhung der Extinktion mit zusätzlicher Lauge trat auch hier wieder nicht auf. Die mit Oxalat und Kalziumhydroxydzusatz erzielbare maximale Farbtiefe erreicht in keinem Falle den mit Natronlauge erzielbaren Maximalwert. Vermutlich wird durch das bei der Reaktion entstehende fein verteilte Kalziumoxalat ein Teil der Humusstoffe koaguliert.

Vergleichen wir in den Abbildungen 4—6 die Natronlaugekurve mit der Natriumoxalatkurve, so können wir feststellen, daß beim Kasseler Braun und bei Huminsäure Merck bei geringem Zusatz von Kalziumhydroxyd sofort eine Zunahme der Farbtiefe im Oxalatauszug einsetzt, während bei Lauge die Abnahme sich

nur langsam ändert. Der Grund für diese Erscheinung liegt darin, daß die Umsetzung zwischen Natronlauge und Kalziumhumat, wobei sich Kalziumhydroxyd als Reaktionsprodukt bildet, langsam ändert, da Kalziumhydroxyd verhältnismäßig löslich ist. Dagegen wird bei Verwendung von Natriumoxalat praktisch unlösliches Kalziumoxalat gebildet. Die zugesetzte Menge Kalzium wird dadurch praktisch vollständig ausgefällt, so daß auf der anderen Seite das Natrium in den Komplex eintritt.

Wenn wir uns noch einmal die Abbildungen 4—6 betrachten, so stellen wir fest, daß die Kurven, die wir mit Natronlauge und Natriumoxalat erhalten haben, im großen und ganzen in entgegengesetzter Richtung verlaufen. Die sauren Humate liefern mit Lauge, die mehr mit Kalzium gesättigten mit Oxalat die höchsten Werte. Mit andern Worten heißt das, daß man mit einem Gemisch von beiden Lösungen eine gerade Linie erhält. In der Tat konnten wir feststellen, daß bei Anwendung einer Mischlösung aus Lauge und Oxalat eine Beeinflussung der Farbtiefe durch verschiedenen Gehalt an Kalzium nicht eintritt, d. h. also, daß der Ionenbelag in diesem Falle keinen Einfluß auf die Farbtiefe hat.

Tabelle 11.
Farbtiefe von Acidum huminicum Merck abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd und Extraktion mit einer Mischlösung aus NaOH (0,5%) und Na-Oxalat (1%).

Zugesetzte Menge mval $Ca(OH)_2$	Extinktionskoeffizient k
0	9,00
1	8,50
2	8,50
3	8,50
4	8,50
5	8,50

Aus der Tabelle 11 geht hervor, daß durch die Anwendung einer Mischlösung aus Natronlauge und Natriumoxalat trotz steigender Ca-Zugabe immer der maximale Wert erhalten wird. Es tritt zwar eine Erniedrigung des Extinktionskoeffizienten von 0,50 ein. Diese ist jedoch unbedeutend und sicherlich in einer physikalischen bzw. chemischen Veränderung der Huminsäure durch den Kalkzusatz begründet.

Versuche an Modellsubstanzen mit steigenden Mengen Magnesiumhydroxyd und Extraktion mit Natronlauge.

Nachdem wir so den Mechanismus der Reaktionen der Kalziumhumate studiert hatten, gingen wir nun daran, dasselbe bei dem anderen Erdalkalimetall, das im Boden häufig vorkommt, dem Magnesium, zu prüfen. Nach den bisherigen Anschauungen mußte man annehmen, daß sich Magnesium dem Kalzium in der Beeinflussung der Farbtiefe ähnlich verhalten würde.

Den Einfluß des Magnesiums studierten wir wie beim Kalzium dadurch, daß wir steigende Mengen Magnesiumhydroxyd zu den

organischen Stoffen zusetzten und eine gewisse Zeit einwirken ließen. Dabei wurde jedoch beobachtet, daß die Umsetzung mit Magnesiumhydroxyd viel langsamer erfolgte. Die Einwirkungsdauer wurde auf vier Wochen verlängert, um sicher zu sein, daß sich alles Magnesium umsetzt. Nach dieser Zeit wurde dann Natronlauge zugefügt, filtriert und gemessen.

Die Oxalatextraktion wurde hier nicht angewandt, weil Magnesiumoxalat im Überschuß von Natriumoxalat löslich ist. Die Untersuchungsergebnisse sind in den Tabellen 12—15 angegeben.

Tabelle 12.

Farbtiefe von Acidum huminicum Merck abgesättigt mit steigenden Mengen Magnesiumhydroxyd und Extraktion mit Natronlauge (0,5%).

Zugesetzte Menge Magnesiumhydroxyd in mval	Extinktionskoeffizient k in Natronlauge	Differenz gegen unbehandelte Substanz
0	9,00	± 0
1	9,00	± 0
3	8,00	— 1,0
4	6,00	— 3,0
6	5,50	— 3,50
10	4,40	— 4,60

Tabelle 13.

Farbtiefe von Kasseler Braun abgesättigt mit steigenden Mengen Magnesiumhydroxyd und Extraktion mit Natronlauge (0,5%).

Zugesetzte Menge Magnesiumhydroxyd in mval	Extinktionskoeffizient k in Natronlauge	Differenz gegen unbehandelte Substanz
0	13,00	± 0
1	11,50	— 1,50
2	11,50	— 1,50
4	10,10	— 2,90
5	10,10	— 2,90
10	10,10	— 2,90

Tabelle 14.

Farbtiefe von Rohstoff abgesättigt mit steigenden Mengen Magnesiumhydroxyd und Extraktion mit Natronlauge (0,5%).

Zugesetzte Menge Magnesiumhydroxyd in mval.	Extinktionskoeffizient k in Natronlauge	Differenz gegen unbehandelte Substanz
0	8,00	± 0
1	7,30	— 0,70
3	6,10	— 2,90
4	5,50	— 2,50
5	5,50	— 2,50
10	5,50	— 2,50

Tabelle 15.
Farbtiefe von Torf abgesättigt mit steigenden Mengen Magnesiumhydroxyd und Extraktion mit Natronlauge (0,5 %).

Zugesetzte Menge Magnesiumhydroxyd in mval.	Extinktionskoeffizient k in Natronlauge	Differenz gegen unbehandelte Substanz
0	2,00	± 0
1	1,50	— 0,50
2	1,00	— 1,00
3	1,00	— 1,00
4	1,00	— 1,00
5	1,00	— 1,00

Aus den Tabellen geht hervor, daß im Gegensatz zum Kalziumhydroxyd durch den Zusatz von Magnesiumhydroxyd und darauffolgender Extraktion mit Natronlauge die Löslichkeit nur sehr langsam abnimmt. Bei Huminsäure Merck ist selbst durch Zusatz von 10 mval Magnesiumhydroxyd der Extinktionskoeffizient noch 4,40. Die Abnahme beträgt also rund 50 %. Bei Kasseler Braun ist die Abnahme nur 22 % und bei Rohstoff 31 %. Absolut genommen ist der Extinktionskoeffizient bei der höchsten angewandten Menge Magnesiumhydroxyd beim Kasseler Braun am höchsten. Dann folgen in weitem Abstande Rohstoff, Humin-

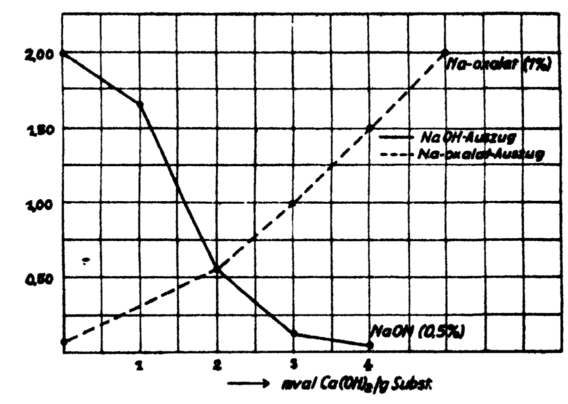


Abb. 7.
Farbtiefe von Torf abgesättigt mit steigenden Mengen Kalziumhydroxyd bei der Extraktion mit Natronlauge (0,5 %) und Natriumoxalat (1 %).

säure Merck und Torf. Beim Torf ist der niedrige k-Wert bei Magnesiumhydroxyd dadurch begründet, daß eine gewisse Menge Kalzium in sorbierter Form vorhanden ist.

Die Abnahme bei Kasseler Braun und Rohstoff geht nur bis 4 mval, beim Torf bis 2 mval, während sie bei Huminsäure Merck bis 10 mval abnimmt. Der hohe Wert von Kasseler Braun im Vergleich zu Huminsäure Merck und Rohstoff kann entweder darin erblickt werden, daß wir es mit einem anderen Typ von Huminsäure zu tun haben oder daß beim Kasseler Braun das zugesetzte Magnesiumhydroxyd sich nicht restlos umgesetzt hat. Magnesiumhydroxyd ist schwerer löslich als Kalziumhydroxyd. Es wird sich also nicht in dem Maße umsetzen wie das Kalziumhydroxyd.

Zur weiteren Untersuchung wurde die Wasserlöslichkeit der Magnesiumhumate geprüft. Das Ergebnis zeigt Abbildung 8.

Die Versuche wurden so angestellt, daß den organischen Substanzen 2 mval Magnesiumhydroxyd und 100 ccm Wasser zugefügt wurden. Das wäßrige Filtrat gab dann die Farbtiefen, wie sie oben niedergelegt wurden. Es zeigte sich, daß die Löslichkeit unter den gegebenen Arbeitsbedingungen sehr verschieden war. Während Magnesiumhumat aus Huminsäure Merck eine große Löslichkeit besitzt, sind die Magnesiumhumate aus Rohstoff, Torf und Kasseler Braun praktisch ungefärbt. Eine Erklärung für diese Tatsache muß weiteren Forschungen vorbehalten werden. Von größtem Interesse wäre dann noch die

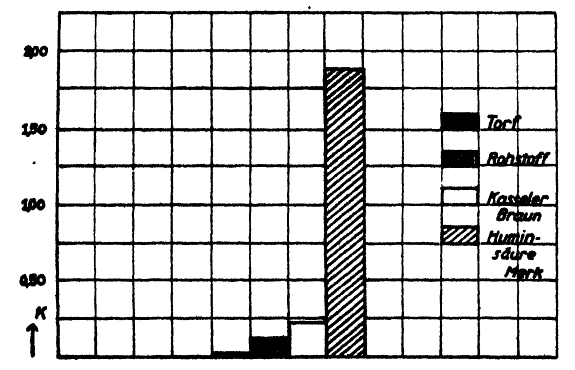


Abb. 8. Löslichkeit der Magnesiumhumate von Torf, Rohstoff, Kasseler Braun und Huminsäure Merck in Wasser.

Untersuchung der Gemische von Magnesiumhydroxyd und Kalziumhydroxyd auf die Farbtiefe. In dieser Richtung wurden nur einige Versuche unternommen, die jedoch zeigten, daß Kalzium stabilisierend auf die Magnesiumhumate einwirkt. Auf jeden Fall ist aus den Versuchen ersichtlich, daß wir dem Magnesiumion nicht den stabilisierenden Einfluß zuschreiben können wie dem Kalziumion. Je mehr wir in dem Humuskomplex das Kalzium durch Magnesium ersetzen, desto mehr laufen wir Gefahr, die Huminsäure in lösliche Form überzuführen. Wenn auch die Löslichkeit der Magnesiumhumate geringer ist als die der Alkalihumate, so sind sie jedoch stärker löslich als die Kalziumhumate. Sie liegen in der Löslichkeit in der Mitte zwischen Alkali und Kalziumhumat. Bei großem Vorhandensein von Magnesium im Komplex, das vielleicht durch eine Verwitterung von stark magnesiumhaltigen Mineralien, z. B. Biotit, entstehen kann, kann man sich wohl vorstellen, daß auftretende Magnesiumhumate in tiefere Bodenschichten abgeführt werden und so der Ackerkrume verloren gehen.

Über die Auswertung von Kompostierungsversuchen.

Im folgenden sei noch über einige Kompostierungsversuche berichtet. Diese Versuche waren so angelegt, daß organische Massen und zwar Stallmist, Torf, Lignin und Rohstoff mit Boden

im Verhältnis 1 : 10 vermischt waren. Als Boden wurde ein saurer Boden verwendet, der durch steigende Kalziumkarbonatmengen auf verschiedene pH-Stufen gebracht war. (Boden Neuendorf pH (KCl) = 4,1, T-Wert = 11,40 $CaCO_3$ = 0,00.)

Folgende Tabelle gibt die Verhältnisse bei diesem Versuche wieder.

Tabelle 16.

Einfluß der Kompostierung bei steigenden Mengen Kalzium auf den pH-Wert und den Stabilitätsfaktor.

Organische Substanz	Zugesetzte Menge $CaCO_3$	pH-Wert (KCl)	Extinktionskoeffizient k in NaOH (0,5 %)	Extinktionskoeffizient in Na-Oxalat (1 %)	Stabilitätsfaktor $\frac{\text{k Oxalat}}{\text{k Lauge}}$
Stallmist	— $CaCO_3$	6,9	0,52	0,45	0,86
	150 g „	7,2	0,48	0,45	0,93
	300 g „	7,2	0,47	0,45	0,95
Torf	— $CaCO_3$	4,0	1,00	0,25	0,25
	150 g „	4,5	0,80	0,25	0,31
	300 g „	5,1	0,65	0,25	0,38
Lignin	— $CaCO_3$	4,5	0,76	0,26	0,34
	150 g „	5,5	0,64	0,26	0,40
	300 g „	6,2	0,50	0,24	0,48
	600 g „	6,8	0,45	0,27	0,60
Rohstoff	— $CaCO_3$	4,3	7,20	3,30	0,45
	150 g „	4,3	7,20	4,20	0,58
	300 g „	4,7	6,50	4,70	0,72

Wie man zunächst aus den pH-Werten erkennt, wird durch die Zusätze verschiedener organischer Substanzen die H-Ionenkonzentration verschieden beeinflußt. Durch Mistzusatz wird beinahe eine neutrale Reaktion erzeugt, während sie bei Torf, Lignin und Rohstoff kaum verändert wird. Durch Zusatz von Kalziumkarbonat wird das pH beim Lignin am stärksten verschoben. Diese starke Verschiebung liegt darin begründet, daß diese Substanz ein geringes Pufferungsvermögen besitzt. Ihr T-Wert ist sehr gering. Bei Torf und Rohstoff ist die Erhöhung des pH-Wertes geringer, begründet in dem größeren Sorptionsvermögen dieser Stoffe.

Beim Versuch mit Stallmist nimmt nach Zusatz von Kalziumkarbonat die Farbtiefe im Laugeauszug nur etwas ab. Die geringe Abnahme ist darin begründet, daß der Kompost ohne Kalziumkarbonat schon ein pH von 6,9 hatte, bedingt durch den hohen Basengehalt des Mistes. Infolgedessen war der organische Komplex schon weitgehend mit Kalzium gesättigt, so daß ein zusätzlicher Kalziumzusatz nur eine geringe Wirkung haben konnte.

Die geringe Veränderung im Lauge- und Oxalatauszug spiegelt sich wieder im Stabilitätsfaktor, der praktisch kaum verändert wurde. Die Farbtiefe von Mist wurde nicht gemessen, da der Zweck der Versuche anfangs ein anderer war.

Beim Versuch mit Torf traten folgende Verhältnisse auf: Torf allein hatte einen Extinktionskoeffizienten in 0,5%iger Natronlauge von 2,00, mit Natriumoxalat einen solchen von 0,07, berechnet auf 1 g organische Substanz. Da die nach der Kompostierung untersuchten Proben zur Ermittlung der Farbtiefe ebenfalls so eingewogen wurden, daß 1 g Substanz mit derselben Lösung ausgezogen wurde, sind diese Zahlen unmittelbar vergleichbar mit den Modellversuchen. Das Bodentorfgemisch hatte ohne Zugabe von Kalzium nur noch einen k-Wert von 1,00. Durch den Kalziumzusatz tritt eine weitere starke Erniedrigung von k ein und zwar um 35%. Diese Erniedrigung der Farbtiefe im Laugeauszug steht in Übereinstimmung mit den Modellversuchen, nach denen durch Zusatz von Kalzium ein erheblicher Rückgang in der Farbtiefe eintritt.

Betrachten wir nun den k-Wert bei der Einwirkung von Natriumoxalat, so müssen wir feststellen, daß dieser sich praktisch kaum verändert hat. Wenn wir uns den Modellversuch von Torf vergegenwärtigen, so müssen wir feststellen, daß auch beim Natriumoxalat mit steigenden Kalziummengen ein starker Anstieg der Farbtiefe stattfand. Bei gleichen Kalziummengen nahm aber die Farbtiefe bei Natriumoxalat langsamer zu, als die bei Natronlauge abnahm. So erklärt sich, daß eine geringe Änderung bzw. Zunahme des Kalziumgehaltes sich am stärksten im Natronlaugeauszug auswirken muß. Der Stabilitätsfaktor hat sich auch hier nur sehr wenig geändert.

Die Versuche mit Lignin zeigen im wesentlichen dasselbe Bild. Während das von uns verwendete Lignin mit Natronlauge und Natriumoxalat praktisch keine Färbung ergibt, ist hier eine erhebliche Farbtiefe entstanden. Dies ist ein Zeichen dafür, daß eine Umsetzung von Lignin eingetreten sein muß. Das ist auch daraus ersichtlich, daß beim Kalziumkarbonatzusatz eine Erniedrigung der Farbtiefe eingetreten ist. Auch hier hat sich der Oxalatauszug praktisch kaum verändert.

Gehen wir nun zum Rohstoff über, so können wir feststellen, daß hier der Extinktionskoeffizient im Laugeauszug durch Zusatz von Kalziumkarbonat praktisch keine Änderung erfahren hat, während der Oxalatauszug deutlich zunahm. Dieses Verhalten wird erklärlich, wenn wir uns den Modellversuch mit Kasseler Braun oder Huminsäure Merck vor Augen halten, bei dem ersichtlich war, daß geringe Mengen Kalziumhydroxyd sich erst in der Zunahme der Farbtiefe des Oxalatauszuges bemerkbar machten, während sich der Laugeauszug durch Zugabe von geringen Mengen Kalzium in der Farbtiefe nicht ändert.

Ein anderer Kompostierungsversuch war mit einem kalziumkarbonathaltigen Boden durchgeführt worden (Boden Zwätzen pH 7,1, $CaCO_3 = 5\%$ T-Wert = 12,30).

Das Ansatzverhältnis organische Substanz : Boden war hier dasselbe wie beim Boden Neuendorf. Auf eine steigende Kalziumzugabe zum Boden wurde hier verzichtet, da dieser schon reich-

Tabelle 17.
Einfluß der Kompostierung auf den Stabilitätsfaktor.

Organische Substanz	pH-Wert (KCl)	Extinktionskoeffizient in NaOH (0,5 %)	Extinktionskoeffizient in Na-Oxalat (1 %)	Stabilitätsfaktor $\frac{k\ Oxalat}{k\ Lauge}$
Mist	7,1	0,20	0,22	1,11
Torf	6,7	0,08	0,15	1,80
Lignin	6,9	0,07	0,02	0,28
Rohstoff	6,9	5,00	6,40	1,20

liche Mengen Kalziumkarbonat enthielt, und durch Zusatz der organischen Substanz keine Änderung des pH-Wertes eingetreten war. Als erstes ist hier auffällig, daß die Extinktionskoeffizienten für Lauge und Oxalat viel geringer sind als beim Boden Neuendorf. Für Torf und Lignin ist die Farbtiefe praktisch auf Null gesunken, was wir auf Grund unserer Modellversuche damit erklären, daß durch die große Menge der Kalziumionen eine Bindung der Humusstoffe an Kalzium eingetreten ist, die von Natronlauge nicht gelöst wird.

Betrachten wir weiterhin die Auszüge mit Natriumoxalat, so stellen wir fest, daß sie zwar größer sind als die Laugeauszüge (Stabilitätsfaktor $>$ 1), aber doch nach den Modellversuchen viel höher sein müßten, für Torf z. B. 2,00 statt 0,15. Die Begründung für dieses Verhalten kann entweder darin liegen, daß eine 1%ige Lösung von Natriumoxalat nicht ausreicht, um alles Kalzium zu binden oder daß die Bildung von Kalziumoxalat dermaßen groß ist, daß die Humusstoffe ausgeflockt werden. Auf diese Verhältnisse wird in einer späteren Arbeit eingegangen werden.

Modellversuche mit Böden.

Im folgenden wurden dann noch einige Versuche angestellt, bei denen die Reaktionsdauer zwischen Boden und organischer Substanz kürzer gewählt wurde. Es sollte dabei nur der Einfluß des Kalziums im Boden bei der Extraktion geprüft werden. Das Verhältnis Boden : organischer Substanz wurde 5 : 1 gewählt.

In der einen Versuchsreihe wurden die organischen Substanzen, wie schon eingangs beschrieben, mit Natronlauge und Natriumoxalat versetzt und nach 24 Stunden filtriert und gemessen. In der zweiten Versuchsreihe wurde das gleiche in Gegenwart von 5 g Boden ausgeführt. Als Böden wurden dabei die zur Kompostierung verwendeten Böden Zwätzen und Neuendorf herangezogen. Die Substanzen waren bei diesen Versuchen Torf, Kasseler Braun und Huminsäure Merck. Nachfolgende Übersicht zeigt die Ergebnisse dieser Versuche.

Aus den Tabellen geht hervor, daß sich die beiden Böden hinsichtlich der Beeinflussung der mit Oxalat und Lauge erzielbaren Farbtiefe sehr verschieden verhalten. Da nach den Feststellungen von Springer eine Absorption der Alkalihumate an tonige Stoffe nicht stattfindet, kann die Beeinflussung der Farbtiefe nur dem Ionenbelag zugeschrieben werden. Was zunächst die Extraktion mit Lauge betrifft, so wird diese durch den Zusatz des sauren Bodens Neuendorf nicht beeinflußt, während beim

Tabelle 18.
Einfluß von Boden Zwätzen auf die Extraktion der organischen Substanzen bestimmt mit Lauge (0,5 %) und Oxalat (1 %).

Organische Substanz	Extinktionskoeffizient					
	in Natronlauge		Differenz	in Natriumoxalat		Differenz
	ohne Boden	mit Boden		ohne Boden	mit Boden	
Huminsäure Merck	9,00	8,00	— 1,00	1,04	3,00	+ 1,96
Kasseler Braun	13,00	13,00	± 0	3,50	9,00	+ 5,50
Torf	2,00	1,40	— 0,60	0,07	0,60	+ 0,53

Tabelle 19.
Einfluß von Boden Neuendorf auf die Extraktion der organischen Substanzen bestimmt mit Lauge (0,5 %) und Oxalat (1 %).

Organische Substanz	Extinktionskoeffizient					
	in Natronlauge		Differenz	in Natriumoxalat		Differenz
	ohne Boden	mit Boden		ohne Boden	mit Boden	
Huminsäure Merck	9,00	9,00	± 0	1,04	1,70	+ 0,66
Kasseler Braun	13,00	13,00	± 0	3,50	5,00	+ 1,50
Torf	2,00	2,00	± 0	0,07	0,20	+ 0,13

kalziumkarbonathaltigen Boden Zwätzen eine Abnahme der Farbtiefe eingetreten ist. Diese Abnahme der Farbtiefe ist bei den drei zur Verwendung gelangten Stoffen verschieden. Während beim Kasseler Braun der Auszug mit Natronlauge keine Veränderung erfuhr, ist der Rückgang bei Huminsäure Merck gering, doch beim Torf schon 30 %. Die Erklärung dafür wurde schon gegeben.

Bei den Oxalatauszügen trat bei den Böden eine mehr oder minder starke Erhöhung der Extinktion ein. Diese Erhöhung führen wir nach unseren Untersuchungen einmal auf den Gehalt an umtauschbarem Kalzium und außerdem auf die sicherlich vorhandene Mitwirkung des Kalziumkarbonats zurück. Da das Kalziumkarbonat eine etwas größere Löslichkeit als Kalziumoxalat besitzt, bildet sich daher bei der Einwirkung des Natriumoxalats auf einen kalziumkarbonathaltigen Boden zugleich Soda, die auf die Farbtiefe einen weiteren Einfluß ausüben kann.

Aus den beschriebenen Versuchen geht klar hervor, daß mit Veränderung des Kalziumgehaltes eine Veränderung der Farbtiefe einsetzt. Wenn man nun eine bestimmte Menge organische Substanz einwiegt, so ist ersichtlich, daß der Einfluß der Ionen um so größer sein wird, je geringer der Prozentgehalt der organischen Substanz ist, da der mineralische Anteil der Einwaage um so größer wird.

Wir haben bei unseren Versuchen nur Stoffe zur Anwendung

gebracht, die dem Braunhuminsäuretyp angehören (im Sinne von U. Springer). Da aber in unseren so fruchtbaren Schwarzerden auch Grauhuminsäuren vorhanden sind, wenn auch nur im Gemisch mit den vorgenannten, so wäre es doch interessant, auch die Eigenschaften dieser bei den Auszügen mit Natronlauge und Natriumoxalat zu studieren.

Aus den angeführten Versuchen geht mit großer Klarheit hervor, daß dem Ionenbelag ein entscheidender Einfluß auf die Farbtiefe der mit Lauge oder Oxalat erzielten Extrakte zukommt. Die Versuche zeigen, wie recht F. Scheffer (34 u. 35) mit seiner Forderung hat, wenn er empfiehlt, vor der Extraktion die sorbierten Basen mit Salzsäure zu entfernen. Andererseits gewähren die Versuche einen Einblick in den Mechanismus der Reaktionen der Humusstoffe und setzen uns so in den Stand, Methoden ausfindig zu machen, die es uns gestatten, den Humus des Bodens qualitativ und quantitativ zu erfassen.

C. Zusammenfassung.

1. Der Einfluß steigender Mengen Natronlauge auf die Farbtiefe einiger Humusstoffe wurde untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß das Maximum der Farbtiefe bei einer Menge Natronlauge eintrat, die ungefähr dem T-Wert dieser Stoffe entsprach. (Indirekte Methode zur Bestimmung des T-Wertes.)

2. Bei der Extraktion mit äquimolekularen Mengen Lithium-, Natrium- und Kaliumoxalat wurde in jedem Falle gefunden, daß Lithium die stärkste, Kalium die schwächste Farbtiefe hervorrief. Natrium nahm eine Mittelstellung ein. Die verschiedenartige Wirkung dieser 3 Oxalate dürfte darin zu suchen sein, daß die dispergierende Wirkung in obiger Reihenfolge abnimmt.

3. An Hand von Modellversuchen wurde gezeigt, daß der Auszug von Humusstoffen mit Natronlauge bei steigendem Kalziumgehalt dieser Stoffe erheblich abnimmt, während im Natriumoxalatauszug fast in demselben Maße die Farbtiefe anstieg. Das Maximum im Oxalatauszug trat dann ein, wenn durch die Umsetzung von Natriumoxalat mit Kalziumhydroxyd eine Menge Natronlauge frei wurde, die ungefähr dem T-Wert der Stoffe entsprach (vgl. 1).

4. Durch die Anwendung einer Mischlösung aus Natriumoxalat und Natriumhydroxyd läßt sich der störende Einfluß der Kalziumionen bei der Extraktion ausschalten. Die so erhaltene Farbtiefe ist unabhängig von der Menge des Ionenbelages.

5. Magnesium machte sich beim Laugeauszug nicht in dem Ausmaß störend bemerkbar, wie es bei Kalzium der Fall ist. Obgleich eine Erniedrigung der Farbtiefe eintrat, war sie doch wesentlich geringer als beim Kalzium. Magnesium dürfte praktisch keinen Einfluß auf die Extraktion mit Natronlauge haben.

6. Die Wasserlöslichkeit der Magnesiumhumate war bei den verwendeten Stoffen sehr verschieden. Während Magnesiumhumat, hergestellt aus Huminsäure Merck, in Wasser ziemlich

löslich ist, ist Magnesiumhumat aus Kasseler Braun und Rohstoff so gut wie unlöslich.

7. An Hand von Kompostierungsversuchen konnte noch einmal der Einfluß steigender Mengen Kalzium auf die Farbtiefe in Lauge und Oxalatauszug festgestellt werden. Der Stabilitätsfaktor steigt an mit steigenden Mengen Kalzium.

8. Für die Extraktion ist ausschlaggebend, in welcher Form Kalzium im Boden vorliegt. Wenn es als Karbonat auftritt, entsteht mit Natriumoxalat Soda, während es bei sorbiertem Kalzium zur Bildung von Natronlauge kommt. Letztere wirkt aber bei der Extraktion stärker als Soda.

Schrifttum.

1. Pozdena, L.: Über kolorimetrische Humusuntersuchung und Humusbestimmung. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **3** (48), 1937, 315—334. Pozdena, L.: Untersuchung über den Aufbau der organischen Komponente von Humusböden unter besonderer Berücksichtigung der kolorimetrischen Methoden. Ebenda, **2** (47), 1937, 55—73.
2. Odén, Sven: Die Huminsäuren. 2. Aufl. Dresden und Leipzig. Verlag von Steinkopff. 1922.
3. Simon, K.: Die charakteristischen Humusstoffe, ihre Beurteilung und ihre Bedeutung im Stalldünger. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **1** (46), 1936, 257—301.
4. Souci, S. W.: Die Chemie des Moores. Ferdinand Enke, Stuttgart, 1938.
5. Springer, U.: Neuere Methoden zur Untersuchung von organischen Substanzen im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde. Berlin, A, **23**, 1931, 1—40.
6. Hock, A.: Beziehungen zwischen Konzentration und Farbwerten von Huminsäurelösungen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **7** (52), 1938, 99—128.
7. Hock, A.: Farbtiefen und Farbtonwert als charakteristische Kennzeichen für Humusform und Humustyp in Böden nach neueren Verfahren. Ebenda, **2** (47), 1937, 304—315.
8. Springer, U.: Der heutige Stand der Humusuntersuchungsmethodik mit besonderer Berücksichtigung der Trennung, Bestimmung und Charakterisierung der Huminsäuretypen und ihre Anwendung auf charakteristische Humusformen. Ebenda, **6** (52), 1938, 312—378.
9. Ostwald, W., u. Steiner: Beiträge zur Kolloidchemie von Humussäure und Torf. Kolloidchem. Beih., Dresden, **21**, 1927, 97—120.
10. Springer, U.: Die Bestimmung der organischen, insbesondere der humifizierten Substanz in Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **11**, 1928, 313—359.
11. Hock, A.: Grundsätzliches bei Farbmessungen an Humuslösungen. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, **7** (52), 1938, 279—302.
12. Springer, U.: Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **22**, 1931, 135—152.
13. Hock, A.: a. a. O., s. Nr. 11.
14. Souci, S. W.: a. a. O., s. Nr. 4.
15. Simon, K.: Über die Herstellung von Humusextrakten mit neutralen Extraktionsmitteln. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **14**, 1929, 252—257.
16. Stadnikoff, G.: Über Huminsäuren. Kolloidz., Dresden, **80**, 1937, 60—68.
17. Scheele, W., u. Steinke: Über Humussäure IV. Ebenda, **77**, 1936, 312—320.
18. Jung, E.: Physikalisch-chemische Untersuchungen an Braunhuminsäuren. Bodenkunde u. Pflanzenernähr. Berlin, 9/10 (54/55.), 1938, 248—273.

19. Hock, A.: a. a. O., s. Nr. 11.
20. Pozdena, L.: a. a. O., s. Nr. 1.
21. Odén, Sven, a. a. O., s. Nr 2.
22. Stadnikoff, G.: Neuere Torfchemie. Verlag Steinkopff. 1930.
23. Springer, U.: Über die Bindungsformen der Humusstoffe, besonders in Waldböden. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **45**, 1936, 327—352.
24. Bach, F.: Ein Beitrag zur Charakterisierung der Humusstoffe. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **11**, 1938, 5/6, 140—166.
25. Simon, K.: Beiträge zur unterscheidenden Charakterisierung von Huminsäuren und alkalilöslichen Ligninen. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, A, **27**, 1932, 129—143.
26. Souci, S. W.: a. a. O., s. Nr. 4.
27. Souci, S. W.: a. a. O., s. Nr. 4.
28. Simon, K.: a. a O., s. Nr. 25.
29. Pozdena, L.: a. a. O., s. Nr. 1.
30. Hock, A.: a. a. O., s. Nr. 11.
31. Pozdena, L.: a. a. O., s. Nr. 1.
32. Souci, S. W.: a. a. O., s. Nr. 4.
33. Zöberlein: Das Sorptions- und Pufferungsvermögen organischer Düngemittel. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **9/10**, 54/55, 1938, 211—248.
34. Scheffer, F., u. Berl-Lunge: Boden. Erg.-Bd. III.
35. Scheffer, F., u. G. Halfter: Untersuchungen über Hygroskopizität, Sorption u. Kolorimetrie an Humusstoffen. Fortschr. d. landw.-chem. Forschung 1938, Forschungsdienst, Sonderh. 11, Berlin, 1938, 64—69. [285]

Untersuchungen über die Entstehung der „wurzelnahen Zone" bei Jungpflanzen von Lupinus luteus.[1])

Von **Helmut Schander.**
Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung, „Erwin-Baur-Institut", Müncheberg.
Eingegangen: 16. März 1939.

A. Einleitung.

In einer früheren Arbeit (27) wurde experimentell gezeigt, daß die typische Kalkchlorose der gelben Lupine nicht vom Gehalt des Bodens an Kalzium und nicht direkt von der Bodenreaktion abhängig ist, sondern von der Reaktion, die in unmittelbarer Nähe der Wurzeln herrscht und die häufig stark von der Bodenreaktion abweicht.

Die Wurzeln sind nämlich in der Lage, die Wasserstoffionenkonzentration in der wurzelnahen Zone zu verändern und auch mehr oder minder fähig, sie optimal gestalten zu können.

Aufgabe dieser Arbeit soll nun sein, zu untersuchen, von welchen Bodenfaktoren diese Einregulierung direkt abhängig ist. Jene Faktoren, die auf dem Umwege über die Pflanze die Intensität der Wurzelausscheidungen und damit nur indirekt die Regulierung der Reaktion beeinflussen, sollen hier unberücksichtigt bleiben.

B. Aufteilung des Problems und theoretische Erwägungen.

I. Allgemeine Gliederung.

Für ein Eindringen in unser Problem ist eine weitgehende gedankliche Analyse des Stoffes sehr nützlich. Wir müssen das Problem zunächst grundsätzlich nach dreierlei Art aufgliedern, indem wir fragen 1. nach den Faktoren, die wirksam sind, 2. nach den Vorgängen, die bewirkt werden, 3. nach den Räumen, in denen die Vorgänge stattfinden.

a) Die Grundfaktoren: Pflanze und Boden.

Zwei gegensinnig wirkende Faktorengruppen entscheiden darüber, ob in der wurzelnahen Zone eine für die Pflanze erfolgreiche Regulierung der Reaktion stattfindet oder nicht. Einmal hat die Aktivität der lebenden Wurzel die Tendenz, eine ihr ungünstige, weil zu alkalische Reaktion zu ändern; zum anderen haben alle jene Eigenschaften des Komplexes Boden, die ich unter dem Begriff „Gleichgewichtsfaktoren" zusammenfassen will, die Tendenz, den ursprünglichen Reaktionszustand des Bodens, auch in nächster Nähe der Wurzel, zu erhalten, d. h. etwa möglichen Änderungen der Reaktion Widerstand entgegen zu setzen und entstandene Differenzen der Reaktion durch Konzentrations-

[1]) Mit Unterstützung der deutschen Forschungsgemeinschaft.

ausgleich — also durch Diffusion — oder durch Massenströmung — also Bewegung der Bodenlösung — zu beseitigen.

Obwohl außerdem damit zu rechnen ist, daß die Aktivität der Wurzel durch den Boden direkt beeinflußt werden kann, sollen hier nur die erwähnten „Gleichgewichtsfaktoren“ des Bodens untersucht werden.

Es ist also zu untersuchen:

1. Welcher Art sind die Widerstände des Bodens, die die Wurzel zu überwinden hat, um die Reaktion zu ändern?

2. Durch welche Bodenfaktoren werden entstandene Reaktionsdifferenzen erhalten bzw. ausgeglichen?

b) Die Grundvorgänge: Die Einregulierung der Reaktion und die Erhaltung derselben.

Die obigen Erörterungen führen bereits zu der zweiten Einteilung des Stoffes. Wir müssen den primären Vorgang der Bildung von Reaktionsdifferenzen vorerst gedanklich trennen vom sekundären, durch den diese Differenzen wieder ausgeglichen werden. Im Ackerboden finden beide Vorgänge gleichzeitig statt. Bereits bei der schwächsten Differenz beginnt der Ausgleich zu wirken. Die Reaktion muß sich solange gleitend ändern, bis beide Tendenzen, die der Differenzenbildung und die des Ausgleiches, miteinander im Gleichgewicht stehen. Solange dies der Fall ist, muß die Reaktion konstant sein, um sich jedoch sofort wieder zu ändern, sobald eine der beiden Tendenzen stärker bzw. schwächer wird als die andere.

c) Die Grund-Raumbereiche: Die Wurzelzone, die Übergangszone und das Zwischengebiet.

Die direkte Messung der Reaktion in der wurzelnahen Zone mittels der Wulffschen Indikatorfolien (27) zeigt 1. einen Raum, von dessen Reaktion die Chlorose nach Maßgabe der Ergebnisse der Wasserkulturversuche (25, 26) direkt abhängig ist, die wurzelnahe Zone oder die Wurzelzone; 2. mehr oder minder einen Raum, in dem der pH-Wert nach dem des Bodendurchschnittes hinübergleitet, die Übergangszone; 3. den Raum zwischen den Wurzeln, in dem die Reaktion des Bodendurchschnittes herrscht, kurz das Zwischengebiet genannt. Die wurzelnahe Zone und die Übergangszone variieren in ihrer Breite. Mitunter grenzen wurzelnahe Zone und Zwischengebiet so scharf aneinander, daß die Übergangszone mit unseren Methoden nicht mehr wahrnehmbar ist. In diesem Fall ist die wurzelnahe Zone extrem schmal.

In der eigentlichen wurzelnahen Zone findet die Einregulierung der Reaktion statt, während sich in der Übergangszone alle jene Vorgänge abspielen, von denen es abhängt, ob die Reaktionsdifferenzen erhalten oder ausgeglichen werden. Herrscht zwischen den beiden Vorgängen Gleichgewicht, so ist die Breite beider

Zonen konstant. Verstärkt sich die aktive Tätigkeit der Pflanze, so muß die wurzelnahe Zone breiter, die Übergangszone schmaler werden. Lassen die Wurzelausscheidungen nach, so tritt das Umgekehrte ein.

Unsere Aufteilung des Problems nach den Raumbereichen ist also der nach den Vorgängen grundsätzlich gleich. Die Vorgänge, die zeitlich kaum getrennt werden können, lassen sich räumlich trennen. Hierdurch wird die experimentelle Erfassung des Problems erleichtert.

II. Spezielle Gliederung.

a) Die Einregulierung der Reaktion in der Wurzelzone.

Wir betrachten die Vorgänge in der wurzelnahen Zone zunächst für sich und schalten rein gedanklich eine undurchlässige Wand zwischen die Wurzel- und die Übergangszone. Experimentell verwirklicht sind diese extremen Verhältnisse in der Wasserkultur. Die gesamte Kulturlösung entspricht der wurzelnahen Zone des Ackerbodens, die somit hier durch die Wandung des Gefäßes begrenzt wird. Übergangszone und Zwischenraum existieren in diesem Extremfall praktisch nicht. Wird die Reaktion der Lösung durch die Pflanze geändert, so muß diejenige der ganzen Lösung geändert werden, da Reaktionsdifferenzen in einer Lösung bereits beim Auftreten ausgeglichen werden, um so mehr, wenn durch Durchlüftungsanlagen für stete Durchmengung gesorgt ist. Wenn wir also die Faktoren suchen, die in der Wasserkultur Reaktionsänderungen bedingen, werden wir auch solche finden, die für Reaktionsänderungen der wurzelnahen Zone im Ackerboden von Bedeutung sind.

1. Der Angriff seitens der Pflanze.

Die Pflanze kann auf zweierlei Art die Reaktion der Lösung ändern, einmal durch selektive Ionenaufnahme, zum anderen durch aktives Ausscheiden von die Reaktion ändernden Substanzen.

α) Die selektive Ionenaufnahme.

Die Veränderung der Reaktion durch selektive Ionenaufnahme hängt im wesentlichen von der Natur der zur Verfügung stehenden Nährsalze ab.

Sie wurde bereits a. O. bei den Wasserkulturen in Einsalzlösungen eingehender erörtert (25). Bei physiologisch alkalischen Salzen, z. B. bei Natriumnitrat, tritt eine Erhöhung der Reaktion, bei physiologisch sauren Salzen, z. B. bei Ammoniumsulfat, eine Erniedrigung derselben ein. Einige Salze, besonders Ammoniumnitrat, wohl aber auch Kaliumnitrat, können bei der einen Pflanze als physiologisch sauer, wenn nämlich der Alkalirest aufgenommen wird, bei einer anderen als physiologisch alkalisch in Erscheinung treten, wenn dort das Umgekehrte der Fall ist.

β) Die aktiven Wurzelausscheidungen.

Die Richtung der Reaktionsänderung wird bei der selektiven Ionenaufnahme, wie bereits erörtert (25), durch die Natur der Nährsalze bestimmt. Ist aber, wie die Ergebnisse der früher

dargestellten Versuche zeigen, eine gleichmäßige Tendenz der Reaktionsänderung nach einem bestimmten pH-Wert hin zu verzeichnen, so dürfte bereits damit das Vorhandensein bestimmter Wurzelausscheidungen erwiesen sein.

Es ist allgemein bekannt, daß die bei der Atmung der Wurzeln freiwerdende Kohlensäure eine solche stoffwechselphysiologisch bedingte Wurzelausscheidung darstellt. Die Frage, ob außer der Kohlensäure noch andere Substanzen ausgeschieden werden, die nicht unter Zersetzung als Gase flüchtig sind, ist bereits frühzeitig aufgeworfen worden. So prüften z. B. Pfeiffer und Blanck 1912 (19) die Aufnahme schwerlöslicher Phosphate durch Hafer und Lupine und beobachteten, daß die Lupine weit mehr Phosphat aufschließt als der Hafer. Durch Sättigung der Bodenlösung mit Kohlensäure wird zwar eine Erhöhung der Phosphataufnahme bei Hafer erzielt, doch wird die der Lupine entsprechende Menge bei weitem nicht erreicht. Die Autoren folgern daraus, daß der Lupine außer der Atmungskohlensäure noch andere saure Ausscheidungen zur Verfügung stehen müssen. Solberg (28) beobachtet, daß die in der wurzelnahen Zone auftretenden Reaktionsdifferenzen durch scharfes Trocknen des Sandes nicht zum Verschwinden gebracht werden können. Er folgert daraus ebenfalls, daß außer Kohlensäure andere, nicht flüchtige Substanzen abgeschieden werden. Bei den eigenen Untersuchungen traten auch Reaktionsdifferenzen auf, die sich durch Anreicherung mit Kohlensäure nicht erklären, wohl aber mittels Säure und sauren Salzen künstlich realisieren lassen (27).

Wurde bereits 1896 von Czapek (5) auf Grund später vielfach angegriffener Untersuchungen angenommen, daß die Wurzelausscheidungen der Lupine vorwiegend aus sauren Phosphaten bestehen, so ist auch aus verschiedenen eignen Beobachtungen indirekt der Schluß zu ziehen, daß die Richtigkeit der Czapekschen Annahme zum mindesten sehr wahrscheinlich ist (27). Aber ungeachtet dessen, daß die Frage nach der Natur der Wurzelausscheidungen ihre letzte Antwort noch nicht erhalten hat, darf die Tatsache, daß die Jungpflanze von Lupinus luteus saure Wurzelsekrete absondert, die die Funktion der Einstellung der optimalen Reaktion in nächster Nähe der Wurzel erfüllen, nach den früher (27) erwähnten Beobachtungen von Aberson (1), Mevius (16), Solberg (28) und Schander (27) nicht mehr bestritten werden.

Die Pflanze hat also die Tendenz, bei zu alkalischer Reaktion die Reaktion zu senken. Welches sind nun die Widerstände, die ihr dabei ein Ackerboden entgegensetzen kann?

2. Der Widerstand seitens des Mediums.

Der Widerstand, den irgendein Medium einer Änderung der Wasserstoffionenkonzentration entgegensetzt, ist die sogenannte Pufferung. In den vorliegenden Verhältnissen interessiert uns ausschließlich die Pufferung, die von der Pflanze zu überwinden ist, um die ihr optimale Reaktion von $p_H = 4{,}8$ zu erreichen. Wir haben im Boden im wesentlichen vier Pufferungssysteme zu unterscheiden, die sich in der Wasserkultur auch einzeln untersuchen lassen. Es sind 1. Die Faktoren der Raumbegrenzung, 2. Die Salz-Säure- und Salz-Lauge-Faktoren, zu denen auch die Ampholyte zu zählen sind, 3. Die schwerlöslichen Salze und 4. Die Kolloide.

α) Die Pufferung durch Faktoren der Raumbegrenzung.

Setzt man Jungpflanzen von Lupinen in eine Nährlösung, deren Zusammensetzung eine wesentliche Änderung des pH durch selektive Ionenaufnahme ausschließt, und deren pH-Wert

über 5,0 liegt, so ändert sich im Laufe der Zeit unter dem Einfluß der Pflanze der pH-Wert nach pH = 5,0. Diese Reaktionsänderung vollzieht sich um so rascher, je geringer die Lösungsmenge, also der Raum ist, der umzustimmen ist. Eine Pflanze, die in einem 3-Liter-Gefäß steht, kann also die Reaktion der Lösung weniger leicht ändern als eine andere, deren Kulturgefäß z. B. nur 50 ccm faßt. Diese für die Wasserkultur so eindeutigen Beziehungen haben für die Verhältnisse des Bodens Bedeutung, da ja die bereits früher beschriebenen Wurzelkastenversuche (27) zeigten, daß die Breite der Wurzelzone je nach der Natur des Bodens verschieden groß ist, der Raum also, der die Wurzel als Wurzelzone zylindermantelförmig umgibt, und in dem die Reaktion einreguliert werden muß, seiner Größe nach von der Art des Bodens abhängt. Als Faktoren, von denen die Größe dieses Raumes bedingt wird, dürften wohl nur die Struktur, vornehmlich Korngröße und Dichte der Lagerung, sowie die Bodenfeuchtigkeit und Wasserführung in Frage kommen. Diese „Raumfaktoren" beeinflussen sich außerdem gegenseitig. Sie spielen überdies eine wesentliche Rolle bei den Vorgängen in der Übergangszone und müssen dort eingehender behandelt werden.

β) Die Pufferung durch Salz-Säure- und Salz-Lauge-Gemische.

Die Pufferungssysteme aus Gemischen von Salzen und Säuren und von Salzen und Laugen sind in der Chemie und Biologie am gebräuchlichsten und besonders durch Sörensen bekannt geworden. Sehr häufig werden in physiologischen Versuchen die Gemische der phosphorsauren und der kohlensauren Salze angewendet. Die Pufferungsstärke dieser Gemische ist einmal durch das Verhältnis der Komponenten, zum anderen durch die Konzentration bestimmt. Sie ist um so größer, je näher das Verhältnis dem von 1 : 1 kommt und je höher die Konzentration ist. In gleicher Weise wie die Gemische wirken die Ampholyte, jene Stoffe, die sowohl als Basen als auch als Säuren in Erscheinung treten können. Daß diese Puffersysteme im Boden ebenso vorhanden sind wie in unseren Wasserkulturen, zeigt jede Titration eines Bodenauszuges.

γ) Die Pufferung durch schwerlösliche Salze.

Außer durch Anwendung der oben beschriebenen Puffergemische kann man in der Wasserkultur die Reaktion durch einen Bodensatz schwerlöslicher Salze konstant halten. Die Methode wurde besonders durch von der Crone und Zinzadse bekannt. Sie benutzten vornehmlich schwerlösliche Eisensalze. Diese Bodensätze, die meist aus verschiedenen Salzen bestehen, lösen sich, sobald der pH-Wert der Lösung fällt, unter Erhöhung desselben solange, bis die ihnen eigentümliche Reaktion wieder erreicht ist. Der vom Bodensatz einzuregulierende pH-Wert richtet

sich nach seiner Zusammensetzung. Verhältnismäßig alkalische Werte entstehen, wenn der Bodensatz kohlensauren oder doppelkohlensauren Kalk enthält. Diese Pufferung durch schwerlösliche Salze spielt im natürlichen Ackerboden eine weit größere Rolle als im Wasserkulturversuch. Die für die Verhältnisse der Kalkempfindlichkeit der Lupine wichtigsten schwerlöslichen Bodensalze sind kohlensaurer und doppelkohlensaurer Kalk und Magnesia, die die Reaktion bei $p_H = 7—8$ festhalten. Die Pufferung dieser Salze richtet sich nach ihrer Löslichkeit, diese wiederum hängt von der Oberfläche der Teilchen, also von der Verteilung ab. Hartes Dolomitgestein in größeren Brocken hat praktisch keine Pufferwirkung, weiche Kreide in feinster Verteilung dagegen puffert sehr stark. Daraus schon folgt, daß die Wirkung des kohlensauren Kalkes unter Umständen nicht mit dem Gehalt des Bodens an demselben parallel zu gehen braucht.

Es wurde bereits erwähnt, daß in einer Nährlösung mit Bodensatz der p_H-Wert nicht von einem Salz, sondern von einem Salzgemisch abhängt. Im karbonathaltigen Boden sind neben dem kohlensauren Kalk stets andere schwerlösliche Salze vorhanden, die sowohl die Pufferkraft als auch die Pufferungsreaktion, — das ist jener p_H-Wert, bei dem die Pufferung am größten ist, — in der einen oder der entgegengesetzten Richtung beeinflussen können.

So verschiebt sich z. B. der Pufferungs-p_H bei Anwesenheit von Magnesiumkarbonat nach 8—9, bei Gips nach 6—7, von verschiedenen Eisensalzen nach 4—7, von Zeolithen nach 4—6, von Humusstoffen nach 3—5 usw.

Diese schwerlöslichen Substanzen können z. T. aus neutralen, sauren oder alkalischen Salzen, z. T. aus Säuren oder Basen, z. T. aus Ampholyten bestehen. Für das Problem der sogenannten Kalkfeindlichkeit der Lupine spielen alle jene Stoffe eine besondere Rolle, die den Boden nach einem p_H-Wert hin abpuffern, der über 5 liegt. Die wichtigsten von diesen sind die Kalzium- und Magnesiumkarbonate. Da aber, wie oben dargelegt, die für die Bildung des Reaktionsoptimums schädliche Pufferung bei weitem nicht allein von den Erdalkalikarbonaten ausgeübt wird, und da ferner nach der alkalischen Seite strebende Pufferkräfte durch schwerlösliche, aber sauer wirkende Bodenteile z. T. aufgehoben werden können, kann der Gehalt an Karbonaten als Maßstab für die Anbaufähigkeit eines Bodens für Lupinus luteus allein nicht zuverlässig sein. Daraus erklärt sich ebenfalls, daß verschiedene Autoren ganz verschiedene Grenzwerte des Kalkgehaltes für erfolgreichen Lupinenbau angeben.

δ) Die Pufferung durch Kolloide.

Maßgebend für das Auftreten chlorotischer Erscheinungen ist nach dem bisher Gesagten ausschließlich der p_H-Wert, der in unmittelbarer Nähe der Wurzel herrscht. p_H-Messungen, die man in Bodenaufschwemmungen vornimmt, weichen häufig von jenen in filtrierten Bodenauszügen ab.

Diesen „Suspensionseffekt“ untersuchte besonders Wiegner (30). Er faßt die Ergebnisse seiner Untersuchungen in folgende Sätze zusammen:

„1. Enthält ein suspendiertes Teilchen oder dispergiertes Teilchen (eine Mizelle) in den Ionenschwärmen überwiegend wirksame Wasserstoffionen, sei es in der inneren Ionenbelegung oder im äußeren Ionenschwarm, so erhöht diese Mizelle beim Suspendieren oder Dispergieren die Wasserstoffionenkonzentration des Dispersionsmittels.

2. Dieser saure Dispergierungs- oder Suspendierungseffekt kann auf elektrischem oder inversometrischem Wege für die verschiedensten Systeme nachgewiesen werden.

3 Das Dispersionsmittel hat nach Entfernung der dispergierten Phase stets eine konstante Wasserstoffionenkonzentration.

4. Der gleiche Effekt der Erhöhung der Konzentration des Dispersionsmittels bei Hineinbringen der dispersen Phase tritt für Hydroxylionen auf, wenn die Teilchen oder Mizellen überwiegend wirksame Hydroxylionen im Innen- oder Außenschwärmen der Mizelle enthalten, was auch an verschiedenen Systemen allgemein gezeigt werden kann.“

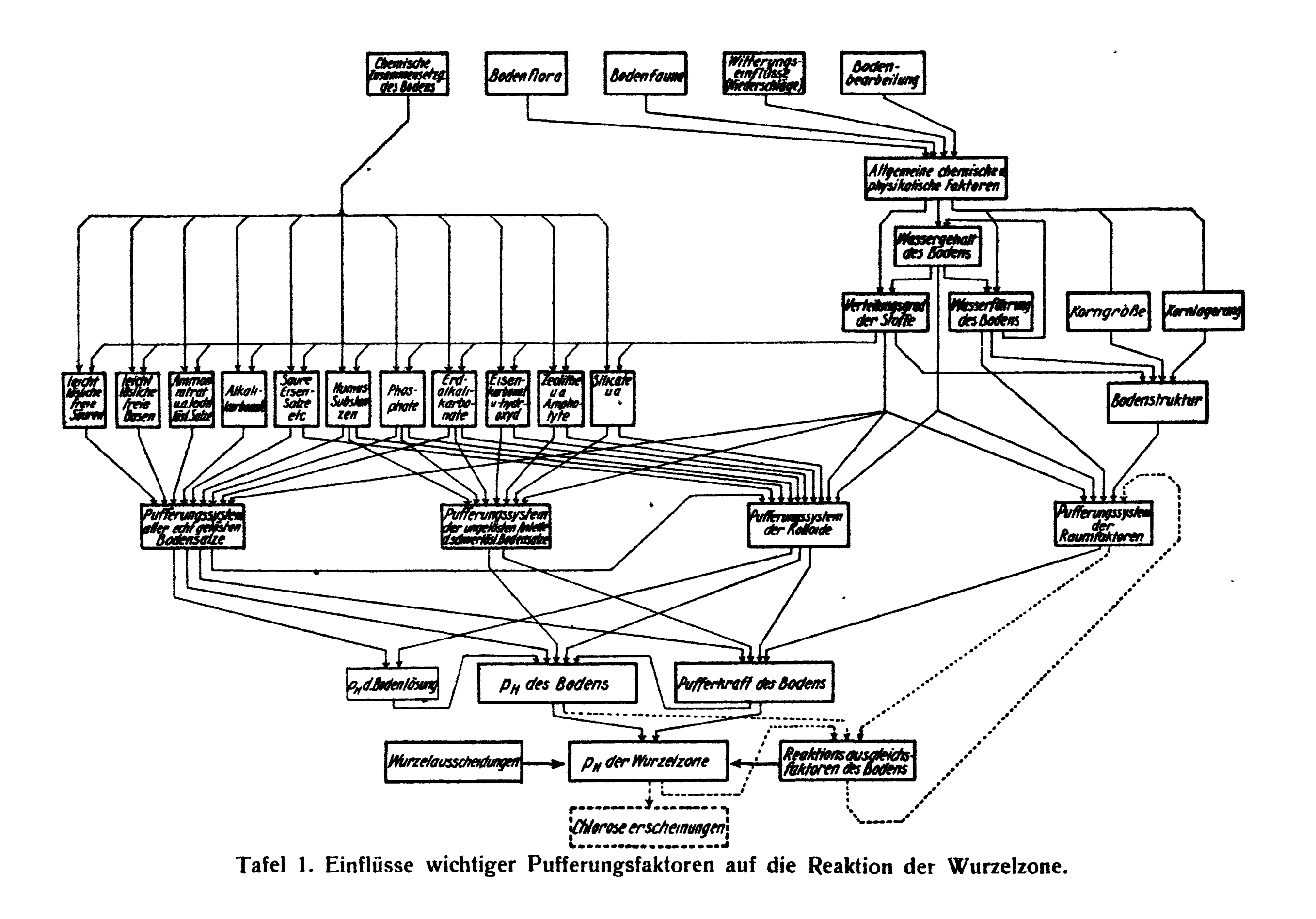
Kalziumkarbonat und ebenso Magnesiumkarbonat kann nun im Boden, und zwar in der Bodenlösung in grobdisperser bis kolloider Verteilung vorkommen und nach dem Wiegnerschen Suspensionseffekt die Konzentration an Hydroxylionen, also die Alkalität, erhöhen. In gleicher Weise können natürlich auch kolloid- und dispers verteilte Partikel z. B. Ton u. a., die in ihren Ionenschwärmen nicht Hydroxyl- sondern Wasserstoffionen enthalten, die Konzentration der Wasserstoffionen vermehren und so die Reaktion (pH) erniedrigen. In den kolloid- und gröberdispers verteilten Stoffen der Bodenlösung liegt also ein weiteres System vor, das die Reaktion und die Pufferung beeinflußt und der Reaktionsregulierung seitens der Wurzel Widerstand entgegensetzen kann. Dieses Pufferungssystem ist weitgehend von den Bodeneigenschaften abhängig, die die Sedimentierung, Fällung und Peptisation beeinflussen, also vom Feuchtigkeitszustand, vom Gehalt an Elektrolyten und pH des Dispersionsmittels, d. h. der Bodenlösung.

3. Kritische Betrachtung der quantitativen Bestimmungsmethoden der Pufferkräfte des Bodens.

Der Widerstand, den der Boden der Einregulierung der Wurzelzone entgegenstellt, setzt sich also aus mindestens 4 Systemen zusammen, deren jedes wiederum aus einer Vielzahl von Faktoren besteht. Eine Übersicht über diese Systeme zeigt Tafel 1. Es besteht zur Zeit keine Möglichkeit, diesen Gesamtwiderstand zu messen. Sämtliche Methoden erfassen nur Teilfaktoren und sind auch nicht imstande, diese einwandfrei und unbedingt zuverlässig zu messen.

Die wichtigsten in Frage kommenden Methoden sind 1. Die Messung des pH. 2. Die Titration. 3. Die Bestimmung des Karbonatgehaltes.

Der pH-Wert der Bodenlösung kann verhältnismäßig zuverlässig gemessen werden. Fehlerquellen können durch die Verdünnung mit H_2O auftreten und dadurch, daß ein unbekannter Anteil der Kolloide in die Untersuchungsflüssigkeit gelangt und den pH-Wert durch den Suspensionseffekt nach Wiegner beeinflußt. Der Suspensionseffekt kann durch Ultrafiltration, mitunter auch durch eine Elektrolytzugabe, die Kolloidfällung bewirkt, aber ihrerseits die



Tafel 1. Einflüsse wichtiger Pufferungsfaktoren auf die Reaktion der Wurzelzone.

Reaktion nicht ändert, ausgeschaltet werden. Fehler durch zu starke Verdünnung können durch Anwendung von Bodenpreßsäften vermieden werden. Ob dann eine kolorimetrische oder potentiometrische Methode angewendet wird, ist ziemlich gleichgültig. Im ganzen genommen ist die Methode mit allen Vorsichtsmaßregeln recht kompliziert und umständlich. Die Werte, die sie liefert, sind für unsere Zwecke unbrauchbar, da sie nur Teilfaktoren, und zwar verhältnismäßig nebensächliche erfassen. Wertvoller sind pH-Messungen in Bodenaufschwemmungen, die einen Anhaltspunkt für den wirklichen pH-Wert des Bodens geben. Fehler treten wiederum durch den Wasserzusatz auf, durch den vornehmlich die Kolloid- und Elektrolytsysteme beeinflußt werden können. Bei der Anwendung der Wasserstoffelektrode wird durch das Einleiten von Wasserstoff das Karbonatsystem gestört[1]). Bei den Chinhydronelektroden kann das Chinhydron durch gewisse Substanzen wie Eisen und Humusstoffe zersetzt werden. Auch kann eine einseitige Adsorption von Chinon oder Hydrochinon stattfinden. Die Glaselektrode, durch die diese Fehler vermieden werden, ist wegen ihrer Zerbrechlichkeit für pH-Messungen in Bodenaufschwemmungen meist unbrauchbar. Kolorimetrische Methoden sind gleichfalls nicht verwendbar mit Ausnahme der früher erwähnten Folienkolorimeter. Das Folienkolorimeter bietet gegenüber den elektrischen Methoden den Vorteil, daß man die Bodenreaktion unter natürlichen Feuchtigkeitsverhältnissen messen kann. Elektrometrische und folienkolorimetrische Messungen in Bodenaufschwemmungen stimmen meist miteinander überein, während mit der Kolorimeterfolie in natürlichem, etwas feuchtem Boden ausgeführte Messungen von solchen in Aufschwemmungen erheblich abweichen können. Bei den ersten findet sich das Kolloidsystem und der Suspensionseffekt in verhältnismäßig natürlichem Zustand vor, bei den anderen nicht. Den zuverlässigsten Wert liefert also die Kolorimeterfolie in natürlichem, höchstens etwas angefeuchtetem Boden.

Wie die bisherigen Erörterungen zeigen, geben diese Werte aber auch nur einen Einblick in einen kleinen Teil der wichtigsten Faktoren.

Die Bodenpufferung selbst wird durch die elektrometrische Titration gemessen. Zu gleichen Teilen Boden wird Säure oder Base in steigender Menge gegeben und der erzielte pH-Wert potentiometrisch festgestellt. Durch diese Methoden werden alle Pufferungssysteme des Bodens mit Ausnahme des der Raumbegrenzungsfaktoren erfaßt. Das Pufferungssystem der Kolloide wird, da nur mit Aufschwemmungen gearbeitet werden kann, erheblich und dazu unkontrollierbar gestört. Das Pufferungssystem der schwerlöslichen Bodensalze wird auch verändert, da infolge der größeren Menge des Lösungsmittels auch mehr Salz als unter natürlichen Verhältnissen in Lösung geht. Wichtig ist, mit welcher Lösung titriert wird. Bodentitrationen mit Salzsäure können von solchen mit Schwefelsäure erheblich abweichen. Anstelle von Säuren können auch saure oder sauer dissoziierende Salze, wie Eisenchlorid oder Monokaliumphosphat benutzt werden. Titrationen mit Monokaliumphosphat entsprechen nach unseren Erfahrungen am meisten der Wirkung der Wurzelausscheidungen (27).

Die Methodik der Bodentitration ist zwar sehr zeitraubend

[1]) Die Verwendung von Wasserstoffelektroden, die mit einem dem Kohlensäuregehalt des Bodens angepaßten Gemisch von Kohlensäure und Wasserstoff arbeiten, ist nur in seltenen Fällen möglich und wird hier daher nicht in Betracht gezogen.

und umständlich, liefert jedoch den tiefsten Einblick in die Bodenverhältnisse. Man muß sich aber der angedeuteten Grenzen und Möglichkeiten dieser Methodik bewußt sein.

Die Bestimmungsmethoden für hydrolytische und Austauschsäure bzw. Base liefern Teilangaben für die Pufferung, haben aber den Vorteil der Material- und Zeitersparnis. Die volumetrische Bestimmung der Karbonate mittels Salzsäure liefert ebenfalls sehr wichtige Teilangaben, kann aber die Bodentitration nur ergänzen, nicht ersetzen.

Eine quantitative Erfassung der Raumfaktoren ist also zur Zeit noch unmöglich. Ihre Wirkung kann nur im Experiment festgestellt werden. Die Messung des p_H der Wurzelzone selbst setzt selbstverständlich die lebende Pflanze voraus und ist nur im Gefäßversuch und zwar im speziellen Kulturgefäß möglich. Will man aber natürlichen Boden auf diese Weise prüfen, so zerstört man notwendigerweise das Puffersystem der Raumfaktoren. Auch wäre es notwendig, als Testpflanze einen Standardstamm zu verwenden, der hinsichtlich der Wurzelausscheidungen als genetisch reine Linie zu betrachten ist.

b) Die Erhaltung bzw. der Ausgleich der Reaktionsdifferenzen in der Übergangszone.

Während die Entstehung der Reaktionsdifferenzen zwischen Wurzelzone und Zwischengebiet von den oben dargestellten Faktoren abhängt, wird die Erhaltung dieser Differenzen von anderen Faktoren beeinflußt.

Die Reaktionsdifferenzen sind Unterschiede in der Konzentration der H^+ bzw. der OH^--Ionen. Sie gleichen sich somit durch Diffusion aus, d. h., die Erhaltung bzw. der Ausgleich der Reaktionsdifferenzen gehorcht dem Diffusionsgesetz von Fick; dieses besagt: Die Diffusionsgeschwindigkeit ist proportional dem Konzentrationsgefälle, umgekehrt proportional der Größe der Diffusionswiderstände und abhängig vom Diffusionskoeffizienten. Dieser ist eine von der Temperatur und der chemischen Natur des gelösten Stoffes und des Lösungsmittels abhängige, von der Konzentration aber unabhängige Konstante.

1. Das Konzentrationsgefälle.

Die Größe des Konzentrationsgefälles entspricht der Reaktionsdifferenz; sie hängt also ab vom p_H der Wurzelausscheidungen und vom p_H des Zwischengebietes d. h. der Bodenreaktion. Da wir die Reaktion der Wurzelausscheidungen als Konstante annehmen müssen, solange wir mit genetisch und physiologisch gleichartigem Material arbeiten, bleibt als veränderlicher Faktor nur die Bodenreaktion übrig. Das Konzentrationsgefälle ist also um so größer, je höher der p_H-Wert des Bodens ist, d. h., die einmal eingestellte optimale Reaktion der Wurzelzone verschwindet um so leichter, je höher die Bodenreaktion ist[1]).

[1]) Der Fall, daß die Bodenreaktion saurer als die optimale der Pflanze ist, muß hier unberücksichtigt bleiben, da nur die Erscheinungen der sogenannten „Kalkempfindlichkeit“ behandelt werden.

2. Die Diffusionswiderstände.

Obwohl auch eine Diffusion in festen Körnern nachgewiesen worden ist, ist für unser Problem nur die Diffusion in der flüssigen Phase des Bodens, also der Bodenlösung, von Bedeutung. Der Diffusionswiderstand ist dem Gesamtquerschnitt der Bodenlösung gleichzusetzen. Diese durchsetzt den Boden in Gestalt einer Art dreidimensionalen Flechtwerkes. Einzelne Flüssigkeitsfäden stellen die Verbindung vom Zwischengebiet nach der Wurzelzone her. Der Gesamtquerschnitt dieser Fäden ist um so größer, je größer ihre Zahl ist, d. h. je weniger unterbrochen sind, und je größer der Querschnitt des einzelnen Fadens ist. — Es spielt bei unserer Betrachtung keine Rolle, ob wir uns den Flüssigkeitskörper als ein räumliches Netzwerk oder, richtiger aber weniger anschaulich, als ein Schaumwerk vorstellen. — Beides, die Zahl der unterbrochenen Flüssigkeitsfäden bzw. der Lücken im Schaumwerk, als auch die Größe der Querschnitte im einzelnen werden weitgehend von der Struktur und dem Wassergehalt des Bodens beeinflußt.

α) Das Krümelgefüge.

Bei Einzelkorngefüge mit feinstem Korn und dichter Lagerung sind bei gleichem Wassergehalt weniger Lücken vorhanden als bei guter Krümelstruktur, bei der zahlreiche Kapillaren unterbrochen sind. Krümelgefüge muß also erhaltend auf die Reaktionsdifferenzen wirken. Auf das Krümelgefüge wirkt eine große Zahl von Faktoren ein, chemische und physikalische.

Von den chemischen sei nur erwähnt, daß Kalk- und Magnesiumsalze, besonders Karbonate, krümelnd, Kalium- und Natriumsalze entkrümelnd wirken.

Durch seinen Einfluß auf das Krümelgefüge wirkt also der Kalk der Entstehung der „Kalkchlorose“ entgegen. Von der physikalischen Beeinflussung des Krümelgefüges seien die Bodenbearbeitung durch den Menschen, die biologische Wirkung der Bodenflora und -fauna und die Witterungseinflüsse genannt.

β) Der Wassergehalt des Bodens.

Bei niederem Wassergehalt muß der Gesamtquerschnitt der Bodenlösung geringer sein als bei hohem. Einmal muß die Zahl der nicht unterbrochenen Verbindungsfäden abnehmen, zum anderen wird das Wasser mehr funikulär verteilt sein, d. h. die Bodenteilchen nur in dünnen Lamellen umhüllen. Bei hohem Wassergehalt ist dagegen die Verteilung vollkapillar[1]). Die Reaktionsdifferenzen halten sich also um so leichter, je geringer der Wassergehalt des Bodens ist. Der Wassergehalt des Bodens wird aber wiederum von einer großen Zahl von Außenfaktoren beeinflußt, von denen Klima und Witterungseinflüsse, Untergrund,

---

[1]) Etwa repletär im Sinne von Versluis (8 u. 9).

Bodenbearbeitung, Bodengefüge, Humusgehalt u. a. die wichtigsten sind.

3. Der Diffusionskoeffizient.

Die Diffusionsgeschwindigkeit hängt, wie bereits erwähnt, auch vom Diffusionskoeffizienten ab, einer für spezifische Verhältnisse charakteristischen Konstanten, deren Größe von der Temperatur und der Natur des gelösten Stoffes sowie der des Lösungsmittels abhängt.

α) Die Bodentemperatur.

Steigende Temperatur wirkt nach dem Fickschen Gesetz erhöhend auf die Diffusionsgeschwindigkeit ein. Erhöhung der Temperatur müßte also danach die gebildeten Reaktionsdifferenzen rascher verwischen. Eine Steigerung der Temperatur setzt aber auch den Wassergehalt des Bodens herab. Bei Verminderung des Wassergehaltes wird der Diffusionswiderstand erhöht und somit die Diffusionsgeschwindigkeit herabgesetzt. Dieser indirekte Vorgang überdeckt jenen zuerst erwähnten direkten. Außerdem sind bei kaltem Wetter die Niederschläge im allgemeinen höher als bei warmem. Hierdurch ist die allgemeine Beobachtung zu erklären, daß bei warmem, sonnigem, meist trockenem Wetter die „Kalkchlorose“ schwächer auftritt als bei kaltem, meist feuchtem Wetter. Außerdem wird durch die Temperatur der Quellungszustand der Bodenteilchen, insbesondere der im gelartigen Zustande befindlichen, beeinflußt, also z. T. auch die Natur der Bodenlösung.

β) Die Natur der Bodenlösung.

Der Diffusionskoeffizient ist von der Natur des gelösten Stoffes und der des Lösungsmittels abhängig. Der gelöste Stoff ist in unserem Fall stets das Wasserstoffion; die Natur des gelösten Stoffes ist also eine Konstante. Das Lösungsmittel, die Bodenlösung, variiert je nach der Natur der Böden. Je höher der Gehalt des Bodens an Elektrolyten, meist anorganischen Nährsalzen, ist, desto höher ist die Diffusionsgeschwindigkeit. Diese wird aber andererseits durch Sorptionserscheinungen herabgesetzt, die durch Kolloide, besonders Gele, hervorgerufen werden. Die Kolloide wiederum werden vom Elektrolytgehalt weitgehend beeinflußt und zwar gefällt, so daß die Elektrolyte auf beiderlei Art gleichsinnig wirken und die Reaktionsdifferenzen ausgleichen. Die Sorptionserscheinungen sowie der Zustand und die Menge der Kolloide sind aber wiederum, wie schon erwähnt, Temperatureinflüssen unterworfen.

4. Die Bewegung des Wassers im Boden.

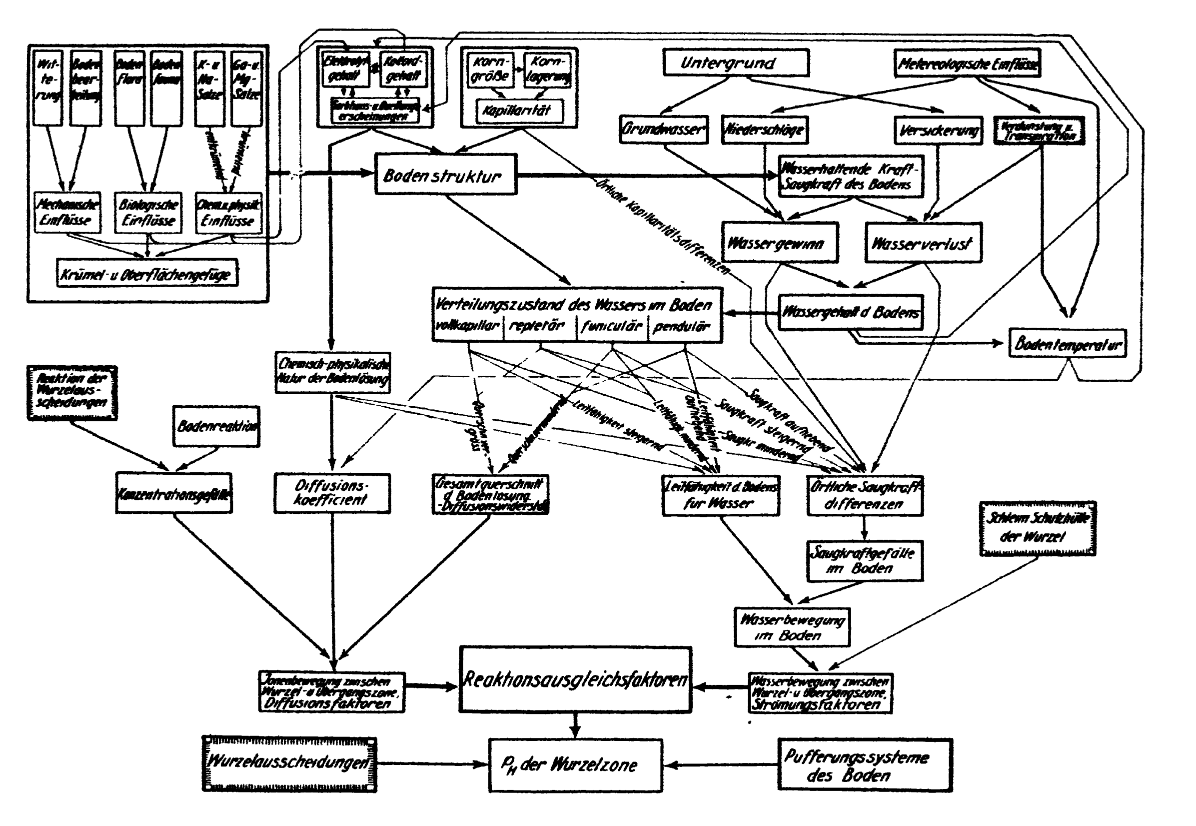
Den vorstehenden Betrachtungen über die Vorgänge der Erhaltung bzw. des Ausgleiches der Reaktionsdifferenzen war, zwecks vorläufiger Vereinfachung der Gedankengänge, die Annahme zu Grunde gelegt, daß der Zustand des Wassers im Boden hin-

sichtlich der Massenströmung praktisch ein statischer sei. Das aber ist nur der Fall, wenn bezüglich der Wasserverteilung dauernd unbedingtes Gleichgewicht herrscht. Da durch jede Wasserentnahme, sei es durch die Pflanzenwurzel, sei es durch Verdunstung an der Oberfläche oder durch Versickern, dieses Gleichgewicht ebenso gestört werden muß, wie durch irgendeine Wasserzuführung, findet im Boden stets eine Bewegung des Wassers statt. Da aber das Wasser, bzw. die Bodenlösung, der Träger der Wasserstoffionenkonzentration ist, müssen Differenzen der Wasserstoffionenkonzentration in Richtung der stattfindenden Wasserbewegung verschoben, d. h. unter Umständen aus dem Bereich der Wurzelzone herausgetragen werden. Die Ursachen und Bedingtheiten der Wasserbewegung sind im einzelnen von Gradmann (8, 9) sehr ausführlich behandelt worden. Wesentlich sind Differenzen im Wassergehalt, die Verteilung des Wassers[1]), Unterschiede in der Saugkraft, der Größe des Saugkraftgefälles und der Leitfähigkeit des Bodens für Wasser. Alle diese Faktoren beeinflussen sich gegenseitig sehr stark und hängen im einzelnen von der Bodenstruktur (Krümelgefüge, Einzelkorngefüge), der Korngröße und den sorptiven Eigenschaften einzelner Bodenbestandteile (Humusteilchen, Bodengele u. a.) ab. Es sind also größtenteils die gleichen Faktoren, die auch die eigentlichen Diffusionsvorgänge beeinflussen (siehe Tafel 2).

Da es nun weniger darauf ankommt, daß die Reaktionsdifferenzen an sich erhalten bleiben, sondern vielmehr von Wichtigkeit ist, daß sie gerade im Gebiet der Wurzelzonen bleiben, und da die später (Seite 361—366) dargestellten Experimente zeigen, daß die Bildung und Erhaltung der Reaktionsdifferenzen in der Wurzelzone mehr den hinsichtlich den Diffusionsvorgängen entwickelten Gedankengängen gehorchen als jenen über die Wasserbewegung im Boden, ist zu folgern, daß entweder die Wasserbewegung eine sehr untergeordnete Rolle spielt, oder daß die Lupinenwurzel noch einen besonderen Schutz gegen die ungünstigen Folgen der Wasserbewegung hat.

Aus der Beobachtung von Luna (14), daß die Wurzelzone (bei Zea Mays?) sich erst geraume Zeit nach dem Gießen beobachten läßt und durch Wasserzuführung sofort verwischt wird, geht hervor, daß die Wasserbewegung einen ungeheuren Einfluß auf die Verwaschung von Reaktionsdifferenzen in den Wurzelzonen ausüben muß. Luna beobachtete außerdem etwa 2 Stunden nach der Wasserergänzung einige Zentimeter unter der Wurzel eine viel stärker saure Reaktion als in unmittelbarer Nähe der Wurzel. Da die Wasserzuführung aber durch Gießen von oben stattfand, mußte die Wasserbewegung im Wesentlichen in vertikaler Richtung von oben nach unten erfolgen. Die durch die Wurzel entstandenen Reaktionsdifferenzen sind also in Richtung der Wasserbewegung aus der Wurzelzone herausgetragen und hierbei nicht

[1]) Repletärer Zustand: Zusammenhängender, kapillarer Wasserkörper, aber kein zusammenhängender Luftkörper im Boden vorhanden; funikulärer Zustand: zusammenhängender kapillarer Wasserkörper und gleichzeitig zusammenhängender Luftkörper vorhanden; pendulärer Zustand: kein zusammenhängender kapillarer Wasserkörper, aber zusammenhängender Luftkörper vorhanden.



Tafel 2. Einflüsse wichtiger Reaktionsausgleichsfaktoren auf die Reaktion der Wurzelzone bei Lupinus luteus. Jene Punkte, an denen die Aktivität der Pflanze zu erkennen ist, sind durch schraffierte Umrandung gekennzeichnet.

durch Diffusionsvorgänge zum Verschwinden gebracht worden. In diesem Falle überdeckten also die Vorgänge der Wasserbewegung jene der Diffusion. Grundsätzlich müssen diese Verhältnisse bei einer Lupinenpflanze die gleichen sein wie bei einer Maispflanze. Aus den Angaben von Luna ist leider nicht mit Sicherheit zu entnehmen, ob er nur bei Mais oder auch bei Lupine ein Hinaustragen der Reaktionsdifferenzen aus den Wurzelzonen beobachtet hat. Er schenkt auch dieser Frage keine weitere Beachtung, da die Zielrichtung seiner Arbeit eine grundsätzlich andere war. Bei seinen ausführlich dargestellten Hauptversuchen beobachtet er daher die Wurzelzone stets erst 24 Stunden nach der letzten Wasserzuführung. Indessen gibt Luna an, daß bei Mais das durch die Wurzeltätigkeit angesäuerte Gebiet größer und weniger scharf umrissen ist als bei der Lupine. Er nimmt an, daß Schleimsubstanzen, die in den Wurzelausscheidungen der Lupine auftreten, in denen von Mais jedoch nicht, die sauren Wurzelausscheidungen in der Wurzelzone zusammenhalten. Die eigenen Wurzelkastenuntersuchungen fanden ausschließlich an der Lupine statt. Es konnte bisher kein Hinaustragen der Reaktionsdifferenzen aus der Wurzelzone beobachtet werden; es wurde allerdings zur Zeit noch nicht systematisch danach gesucht. Die Reaktionsänderungen in der Wurzelzone konnten aber stets, auch unmittelbar nach dem Gießen der Kästen, gut festgestellt werden, was im Gegensatz zu den von Luna wahrscheinlich an Zea gemachten Befunden steht. Daher ist anzunehmen, daß Lupinus luteus im Gegensatz zu Zea Mays einen Schutz gegen die durch die im Boden vorhandene Wasserbewegung hervorgerufene Auswaschung der Wurzelzone besitzt. Dieser Schutz dürfte in der die Wurzel umgebenden Schleimhülle zu suchen sein,' die deshalb bei den weiteren Untersuchungen besonders beachtet werden wird.

5. Die quantitative Bestimmung der Reaktionsausgleichsfaktoren.

Fast alle in den vorigen Abschnitten erwähnten Faktoren wirken auf den Ausgleich der Reaktion und somit auf den pH-Wert der Wurzelzone mehr oder minder indirekt. Viele Faktoren wirken über mehrere Wirkungsketten. Alle Faktoren und auch die einzelnen Wirkungsketten beeinflussen einander.

Eine quantitative Erfassung des Gesamtkomplexes ist z. Zt. völlig unmöglich. Einige Einzelfaktoren sind dagegen der quantitativen Bestimmung zugänglich, wie z. B. der Wassergehalt, der Kalkgehalt, die Bodentemperatur, die Saugkraft und ähnliche. Diese Werte besagen aber im Einzelnen gar nichts für unsere Fragestellung. Andere Faktoren lassen sich nicht einmal roh abschätzen, wie z. B. das Krümelgefüge und die Wasserverteilung.

Die Wirkung dieses Systems der die Reaktionsdifferenzen ausgleichenden Faktoren läßt sich bisher also nur im Gefäßkulturversuch unter Anwendung der Reihenmethode untersuchen. Die Ergebnisse können unter den Bedingungen der Feldkultur nur durch Abschätzung der Bodenfaktoren anhaltsweise nachgeprüft werden.

c) Die Bedeutung des kohlensauren Kalkes für die Entstehung der „Kalkchlorose“.

Die gebräuchlichen Namen „Kalkempfindlichkeit“, „Mergelkrankheit“ „Kalkchlorose“ u. a. zeigen, daß der Kalk als Ursache der physiologischen Erkrankung angesehen wird. Die vorstehenden Untersuchungen zeigen, daß der Kalk eine nur sekundäre Rolle spielt und daß seine Wirkung von zahlreichen anderen Faktoren so stark beeinflußt wird, daß man nie aus dem Kalkgehalt des Bodens allein im voraus Rückschlüsse auf die Schwere

der Kalkschädigung der Lupine ziehen kann. Die wichtigsten Beziehungen zwischen der Wirkung des kohlensauren Kalkes und den übrigen Bodenfaktoren sind in Tafel 3 dargestellt. Auf Grund der Erfahrung läßt sich sagen, daß auf nährstoffärmstem Sand, bei ausgesprochenem Einzelkorngefüge und hohem Wassergehalt, 0,01 % kohlensaurer Kalk ausreichen können, um die typische Kalkchlorose hervorzurufen. Auf einem bindigen, gut gekrümelten, lockeren, verhältnismäßig trockenen Boden kann die gelbe Lupine in ihren heutigen Kulturformen unter Umständen bis zu 10 % kohlensauren Kalk vertragen, ohne daß damit aber gesagt sein soll, daß sie auf einem solchen Boden optimale Wachstumsbedingungen findet.

C. Versuche der experimentellen Klärung.

1. Vorbemerkung.

Die vorausgehenden Ausführungen zeigen in aller Schärfe, daß unser Problem in seiner Gesamtheit experimentell nicht angreifbar ist, wenn es nicht in kleine und kleinste Teilfragen aufgelöst wird, bei deren Lösung aber stets das Gesamtproblem mit allen übrigen Fragen beachtet werden muß, um vor Trugschlüssen einigermaßen geschützt zu sein. Mehr wohl als bei den meisten anderen Problemen ist hier der Grundsatz jedes kausalanalytischen Experimentierens, einen Faktor unter Konstanthaltung aller übrigen zu variieren, zu beachten und schwerer als bei anderen Problemen ist er gerade hier zu erfüllen.

Bei Änderung der Reaktion ist es z. B. kaum zu vermeiden, die Löslichkeit der Nährstoffe, den Wasserhaushalt, das System der Kolloide, die Bodenstruktur und andere wichtige Faktoren ebenfalls und meist leider unkontrollierbar zu verändern.

In unser Problem die notwendige Klarheit hineinzubringen und die oben dargestellten Hypothesen und Theorien zu stützen ist nur möglich, wenn man von den verschiedensten Seiten und mit verschiedenster Methodik an die Fragen herantritt. Das ist, in bescheidenstem Maße, bei den nachstehend geschilderten Experimenten geschehen. Für die praktisch-züchterischen Arbeiten indessen boten die entwickelten Theorien bereits genügend Grundfläche, auf der weiter gebaut werden konnte, wie a. O. gezeigt werden wird.

Ob später Revisionen unserer Anschauungen notwendig sein werden, müssen sorten- und stammvergleichende Untersuchungen dartun, die auch, wie bereits gezeigt werden konnte (29), Aufschluß darüber geben, welche Außenfaktoren von besonderer Wichtigkeit sind.

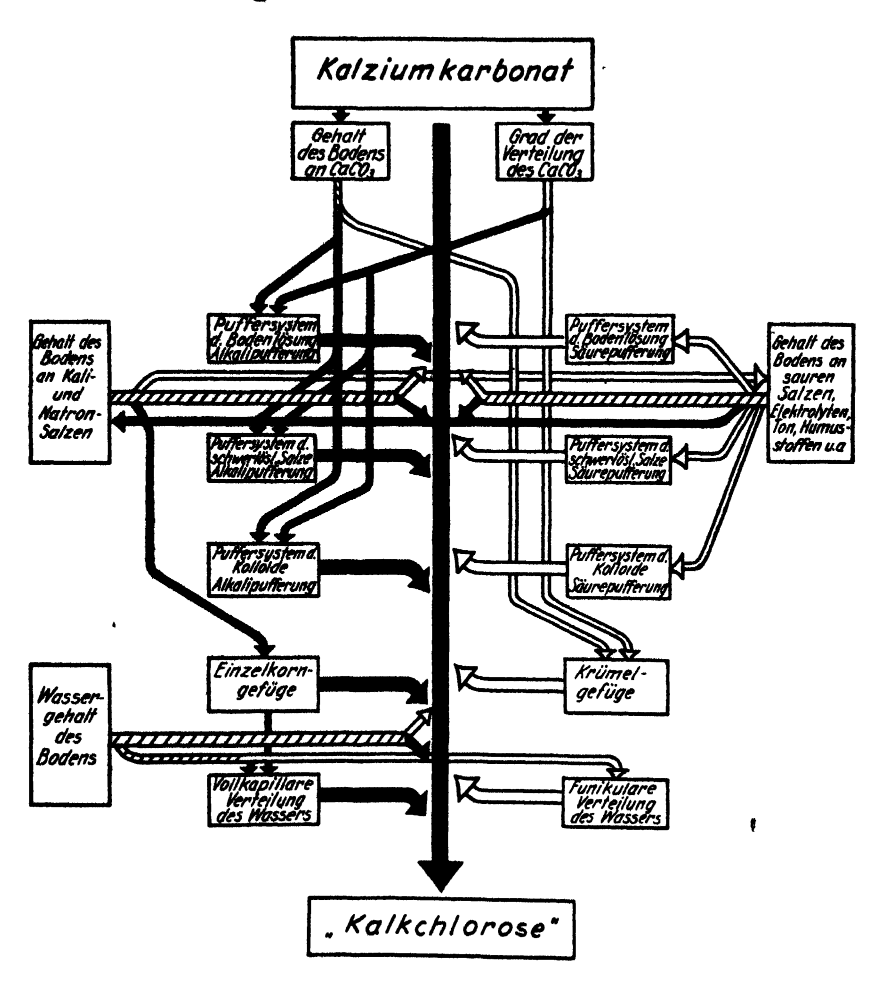
2. Versuche über die Reaktionsänderung in Abhängigkeit von der Pufferung durch die Größe des Raumes.

7 Wasserkulturgefäße von je 3 Liter Inhalt wurden mit verdünnter Natronlauge von pH = 7,5 beschickt und mit 0, 1, 2, 4, 8, 16 und 32 Pflanzen besetzt. Der pH-Wert wurde täglich kontrolliert. Nach 24 Tagen wurde der Chlorosewert bestimmt.

Der pH-Wert sank ziemlich stetig und um so rascher, je mehr Pflanzen das Gefäß enthielt. Den Verlauf der Reaktionsänderung

zeigt Abb. 1, den Stand der Reaktion und der Chlorose nach 24 tägiger Versuchsdauer Abb. 2.

Wiederholungen des Versuches mit anderen Lupinenstämmen und anderen Laugen zeigten prinzipiell die gleichen Verhältnisse. Die Versuche zeigen mithin:



Tafel 3. Der Einfluß des kohlensauren Kalkes auf die „Kalkchlorose“ der gelben Lupine in Abhängigkeit von anderen Bodenfaktoren.

- (schwarzer Balken) Verstärkung der Faktorengruppe verstärkt die schädliche Wirkung des kohlensauren Kalkes.
- (weißer Balken) Verstärkung der Faktorengruppe vermindert die schädliche Wirkung des kohlensauren Kalkes.
- (schraffierter Balken) Verstärkung der Faktorengruppe verstärkt oder vermindert, je nach der Konstellation aller Faktoren, die schädliche Wirkung des kohlensauren Kalkes.

Die Einstellung der Reaktion erfolgt um so leichter, je kleiner der Lösungsraum ist, den die Pflanze umstimmen muß.

3. Versuche über die Reaktionsänderung in Abhängigkeit von der Pufferung durch Salz-Säure- und Salz-Lauge-Gemische.

In Wasserkulturreihen von annähernd gleicher Reaktion, aber ansteigender Pufferkraft der Lösung, wurden Pflanzen gezogen und die Veränderung der Reaktion beobachtet. Die Versuche sind früher (25, 26) beschrieben.

Sie zeigen: Die Einstellung der Reaktion durch die Wurzel erfolgt um so leichter, je geringer die Pufferung der Lösung ist.

4. Versuche über die Reaktionsänderung in Abhängigkeit von der Pufferung durch schwerlösliche Salze.

Die für Selektionszwecke benutzte Nährlösung von pH = 7,5 hat beträchtlichen Bodensatz. Dieser wurde durch Absaugen der überstehenden

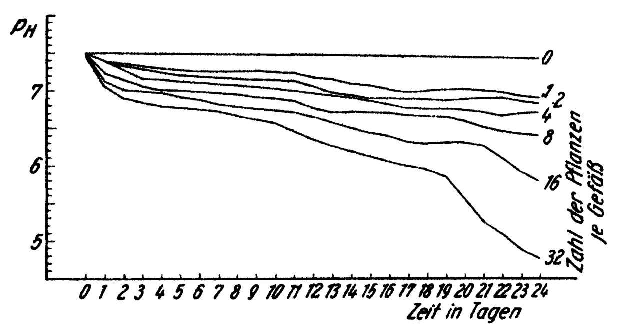


Abb. 1. Die Abhängigkeit der Reaktionsänderung durch die Pflanze von der Zahl der Pflanzen je Gefäß.
Medium: verdünnte Natronlauge. Material: Lupinus luteus, Stamm 80.

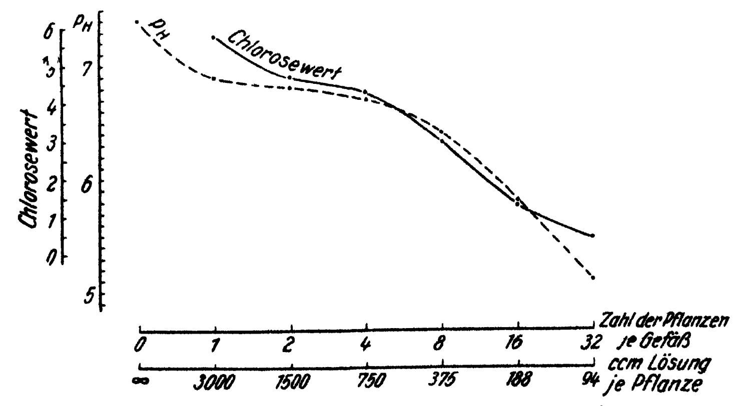


Abb. 2. Die Abhängigkeit der Reaktion (pH) und der Chlorose von der Lösungsmenge je Pflanze.
Medium: verdünnte Natronlauge. Kulturzeit: 24 Tage. Lupinus luteus, Stamm 80.

klaren Lösung konzentriert. 0, 5, 10, 50, 100 und 250 ccm des konzentrierten Satzes wurden mit filtrierter klarer Nährlösung auf je 1 Liter aufgefüllt. Mit diesen 6 Lösungen wurden je zwei 2-Litergefäße beschickt. Die Gefäße wurden mit je 10 Pflanzen besetzt.

Die Reaktionsänderung erfolgte um so rascher, je geringer der Bodensatz war. Parallele Einsalzkulturversuche mit Kalziumkarbonat und Kalziumsulfat, bei denen die Größe des Bodensatzes variiert wurde, hatten gleichsinnige Ergebnisse.

Diese Versuche stimmen mit Ergebnissen von Arrhenius (2) überein, der besonders die Pufferwirkung verschiedener Phosphatniederschläge in Nährlösungen untersuchte.

Aus diesen Versuchen folgt: Eine wirksame Einregulierung der Reaktion durch die Wurzeln von Lupinus luteus kann erst erfolgen, wenn zuvor die (alkalisch puffernden) ungelösten Anteile der schwerlöslichen Nährsalze gelöst sind.

5. Versuche über die Abhängigkeit der Wirkung kohlensauren Kalkes vom Wassergehalt des Bodens.

Zu Hohenbockaer Quarzsand wurde kohlensaurer Kalk in 10 Konzentrationsstufen von 0 bis 5% zugefügt. Die Sandmischungen wurden in 10 Parallelreihen in Tontöpfe zu 1,5 kg gefüllt. Die Töpfe wurden mit je 6 Lupinenpflanzen besetzt. Von jeder Reihe gleicher Kalkkonzentration wurde 1 Topf täglich einmal, der 2. zweimal, der 3. dreimal usw., der 10. zehnmal mit destilliertem Wasser gegossen, so daß über Kreuz zu den 10 Kalkkonzentrationsreihen 10 Feuchtigkeitsreihen entstanden.

Die Chlorose trat um so stärker auf, 1. je höher bei gleicher Kalkmenge die Feuchtigkeit, 2. je größer bei gleicher Feuchtigkeit die gegebene Kalkmenge war. Die Reaktion in der Wurzelzone entsprach der Intensität der Chlorose. Aus diesem Versuch ist zu folgern: Die optimale Reaktion in der Wurzelzone wird um so leichter eingestellt, je geringer der Wassergehalt des Bodens und je geringer die Wasserbewegung im Boden ist, sofern das Wachstum nicht durch Wassermangel gehemmt wird.

6. Versuche über die Abhängigkeit der Wirkung kohlensauren Kalkes von der wasserhaltenden Kraft des Bodens.

In Abänderung der unter 5 beschriebenen Versuche wurde nährstofffreier, bzw. sehr nährstoffarmer Sand in 5 verschiedene Körnungsstufen[1]) mit je 6 verschiedenen Gaben von kohlensaurem Kalk versetzt. Die Töpfe wurden einmal täglich gleichmäßig gegossen.

Die Chlorose war um so stärker, je feinkörniger der Sand war. Die Reaktion in der Wurzelzone entsprach wiederum der Stärke der Chlorose. Da die Kapillarität des Bodens um so größer war, je feinkörniger der Sand war, und da von der Kapillarität die wasserhaltende Kraft und somit auch der Wassergehalt des Bodens abhängt, ergibt sich aus diesem Versuch: Die Regu-

[1]) Hohenbockaer Sand, Aquariensand der Firma Scholtz und Pötzschke, Berlin, und Sand der Ton- und Steinzeugwerke, Freienwalde.

lation der Reaktion erfolgt um so leichter, je geringer die Kapillarität des Bodens und je geringer somit seine wasserhaltende Kraft ist.

7. Versuche über die Abhängigkeit der Wirkung kohlensauren Kalkes vom Wassergehalt des Bodens unter Berücksichtigung des Wiegnerschen Suspensionseffektes.

In Anlehnung an die Versuche des Abschnittes 5 wurde eine Bodenmischung aus Müncheberger leichtem Sandboden, nährstofffreiem Sand der Ton- und Steinzeugwerke, Freienwalde, (Sand W) und kohlensaurem Kalk (Merck 2062) in den Gewichtsverhältnissen 3 : 6 : 0,1 hergestellt und in 5 Teile geteilt. Teil 1 erhielt auf 10 kg Mischung 250 ccm Wasser, Teil 2 500, Teil 3 750, Teil 4 1000, Teil 5 wurde mit Wasser abgesättigt. Mit diesen 5 Mischungen wurden 5 Wurzelkästen gefüllt, deren Gewicht sodann festgestellt wurde. Das verdunstete und transpirierte Wasser wurde täglich nach Gewicht ergänzt. Jeder Kasten erhielt 12 Keimpflanzen.

Die pH-Messungen der Böden wurden nach 3 Methoden vorgenommen, deren Ergebnisse sich erheblich von einander unterschieden.

Methode 1: Eine Sandprobe wurde mit der doppelten bis dreifachen Wassermenge versetzt. In dieser Aufschwemmung wurde der pH-Wert mittels der Chinhydronelektrode gemessen. Methode 2: Es wurde eine gleiche Aufschwemmung hergestellt wie bei 1. Die Messung erfolgte mit der Kolorimeterfolie nach Wulff. Methode 3: Die Kolorimeterfolie wurde auf den Boden ohne Wasserzusatz aufgedrückt. Die Bodenlösung wurde mittels Filtrierpapier durch die Folie gesaugt[2]).

Die Reaktion der Wurzelzone wurde nur nach Methode 3 gemessen. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle.

Versuch Nr.	Wassergehalt in ccm Wasser je kg Boden	pH des Bodens nach Methode			pH der Wurzelzone nach Methode III	Chlorosewert
		I	II	III		
1	25	7,2	7,2	6,7	5,3	0,0
2	50	7,2	7,2	6,9	5,7	2,9
3	75	7,2	7,2	7,0	5,8	4,1
4	100	7,2	7,2	7,1	6,0	5,8
5	abgesättigt	7,2	7,2	7,2	6,0	6,2

Der Versuch bestätigt also die Ergebnisse der im Abschnitt 5 dargestellten Versuche. Die Differenzen zwischen den Reaktionsmessungen nach den Methoden I und II einerseits und III andererseits lassen sich am leichtesten durch das Auftreten eines alkalischen Suspensionseffektes im Sinne von Wiegner erklären. Bei Versuch Nr. 5 ist die Wasserverteilung vollkapillar, bei Versuch 1 funikulär bis pendulär. Die Versuche 2—4 stellen Übergangsstufen dar. Je dünner bei funikulärer Wasserverteilung der Wasserfilm auf den Bodenteilchen ist, desto weniger leicht können sich kolloidal oder gröber dispers verteilte Substanzen in der Lösung halten, desto geringer muß also der Suspensionseffekt sein. Da

[2]) Eine ausführliche Darstellung dieser Methode wurde a. O. (27) gegeben.

bei der Versuchsanordnung die suspendierten Teilchen vornehmlich aus Kalziumkarbonat bestehen müssen, erklärt es sich, daß durch den Suspensionseffekt die OH-Ionenkonzentration erhöht wird. Der Versuch macht also wahrscheinlich, daß der Wassergehalt des Bodens über eine Beeinflussung der im Boden enthaltenen Kolloide die Bodenreaktion und die Einregulierung der Reaktion durch die Wurzel beeinflußt.

8. Versuche über die Abhängigkeit der Wirkung kohlensauren Kalkes vom Lehmgehalt des Bodens.

Im Wurzelkastenversuch wurden 3 Kalkreihen angesetzt. Für Reihe I wurde leichter Sandboden, für Reihe II lehmiger Sand, für Reihe III Lehmboden benutzt. In jeder Reihe wurden 5 Kalkstufen (0,0, 0,05, 0,1, 0,8 und 2,5 %) angesetzt.

Das Ergebnis zeigt die Tabelle.

Kalkgehalt	Lehmfr. Sand			Lehmig. Sand			Sandig. Lehm		
	pH		Chlorosewert	pH		Chlorosewert	pH		Chlorosewert
%	des Bodens	der Wurzelzone		des Bodens	der Wurzelzone		des Bodens	der Wurzelzone	
0,0	6,0	5,1	0,0	6,2	5,1	0,0	6,1	5,1	0,0
0,05	6,2	5,4	0,5	6,3	5,1	0,0	6,2	5,1	0,0
0,1	6,5	5,8	2,3	6,4	5,1	0,0	6,3	5,1	0,0
0,8	6,8	6,0	3,3	6,5	5,4	2,3	6,3	5,1	0,0
2,5	7,0	6,4	5,0	6,7	5,8	2,6	6,4	5,1	0,0

Der Versuch zeigt:

Die „Kalkwirkung" wird vom Lehmgehalt des Bodens gemildert.

9. Versuche über die Abhängigkeit der Wirkung kohlensauren Kalkes von der Lagerungsdichte der Bodenteilchen.

Aus leichtem Müncheberger Sandboden wurden durch Zugabe von kohlensaurem Kalk 5 Konzentrationsstufen von 0 bis 3 % $CaCO_3$ hergestellt und in Wurzelkästen gefüllt. In der Versuchsreihe A wurde der angefeuchtete Boden so krümelig und locker als möglich eingefüllt, in der Versuchsreihe B dagegen wurde er eingestampft. Die Feuchtigkeit wurde auf Grund von Messungen mit einem Materialhygrometer der Firma Fueß bei etwa 75—80 % relativer Feuchtigkeit in beiden Reihen möglichst gleichgehalten.

In der Reihe B trat die Chlorose heftiger und bereits bei geringeren Kalkstufen auf als in Reihe A. Dem entsprachen die pH-Werte in der Wurzelzone. Der Versuch zeigt: In lockerem, gut durchlüftetem Boden kann die Lupine die optimale Reaktion in der Wurzelzone leichter einregulieren als in festem.

10. Freilandbeobachtungen im Jahre 1935.

Zu Beginn der Untersuchungen im Jahre 1935 war Gelegenheit, in Philippinenhof bei Müncheberg zwei kleine Chlorosestellen in Stoppellupinen zu beobachten. Bodenuntersuchungen auf Karbonat ergaben, daß bei der einen Stelle kohlensaurer Kalk in einer Tiefe von 60 cm begann. Der Boden über dieser Kalkschicht war praktisch karbonatfrei. Bei der anderen Chlorosestelle befand sich etwa 10 cm unter der Oberfläche eine etwa 20 cm starke Kalkschicht. Über und unter dieser Schicht war

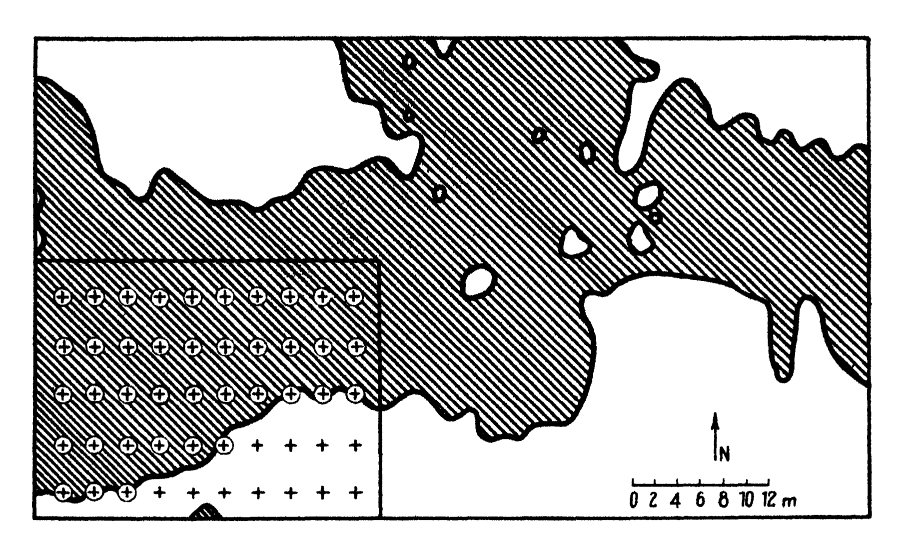


Abb. 3. Übersicht über die Verbreitung der Chlorose von Lupinus luteus Stamm 8 im Rebenzuchtgarten in Brigittenhof im Herbst 1936. In dem eingezeichneten Ausschnitt wurden Bodenuntersuchungen ausgeführt. Die Kreuze kennzeichnen die Entnahmestellen der Bodenproben.



der Boden gleichfalls praktisch karbonatfrei, desgleichen an den chlorosefreien Kontrollstellen. Eingehendere Untersuchungen wurden wegen der Geringfügigkeit des Auftretens der Chlorose und aus Zeitmangel nicht angestellt. Aus diesen Untersuchungen ist daher nur ersichtlich, daß *Kalkmergel chlorosierend wirkt, gleichgültig, ob er erst in größerer Tiefe von den Wurzeln erreicht wird oder ob er in einer verhältnismäßig schwachen Schicht vorliegt, die von den Wurzeln leicht durchwachsen werden kann.*

11. Freilanduntersuchungen im Jahre 1936.

Im Herbst 1936 wurde in einem Rebenzuchtgarten des Kaiser-Wilhelm-Institutes in Brigittenhof bei Müncheberg auf einer Fläche

von etwa 6 Morgen gelbe Süßlupine Stamm 8 zur Gründüngung gedrillt[1]). Da auf diesem Lande mehrere z. T. recht hochprozentige Kalkmergelstellen vorhanden sind, trat stellenweise heftige Chlorose auf. Diese wurde für einen Teil des Geländes kartenmäßig festgelegt (Abb. 3). Wiederum von einem Teil dieser Fläche wurden in engem Abstand Bodenproben aus der Krume, aus 50 cm und aus 75 cm Tiefe entnommen (Abb. 3). Es wurde die Bodenreaktion (Abb. 4), der Karbonatgehalt (Abb. 5) und die Pufferkraft des Bodens gegen Salzsäure (Abb. 6, 7, 8) bestimmt.

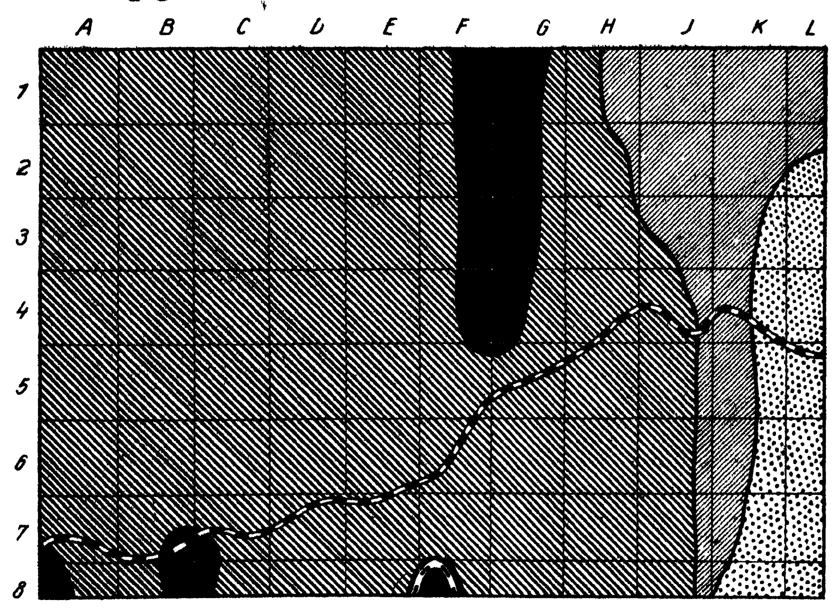


Abb. 4. Die Bodenreaktion in der Krume des in Abb 3 bezeichneten Geländes. 1936.

pH = 6,5—7,0   pH = 7,0—7,5   pH = 7,5—8,0

pH = 8,0—8,5   Grenzlinie des Chlorosebereichs.

Die Reaktionsmessung erfolgte in der üblichen Weise in einer Bodenaufschwemmung mit destilliertem Wasser mittels der Chinhydronelektrode. Die Bestimmung des Karbonatgehaltes wurde mittels des Kalzimeters der Firma Leitz vorgenommen. Für die Pufferungsbestimmungen wurden achtmal 3 g der feingesiebten und gut durchmischten Proben abgewogen und je mit 10 ccm verschieden hoch konzentrierter Salzsäure versetzt. (0,5/1000 n; 1/1000 n; 2/1000 n; 4/1000 n; 8/1000 n; 16/1000 n; 32/1000 n; 64/1000 n.) Nach 24 Stunden wurde die Reaktion dieser Aufschwemmungen mittels der Chin-

[1]) Die Aufnahme der Geol. Landesanstalt (Aufn. von Prof. Jentsch 1918, nicht veröffentlicht) zeigt für das Gelände: Geschiebemergel über Sand.

hydronelektrode gemessen und jene Säuremenge bestimmt, die zur Erzielung des pH von 5,0 ausreicht. Diese wurde in ccm n/10 HCl/kg angegeben und in die Karten eingetragen. Zur Verbesserung der Vergleichsmöglichkeit wurden die Karten mit einem Liniennetz versehen, das seitlich Buchstaben und Ziffern erhielt. Auch wurde jeweils die Grenze des Chlorose hervorrufenden Gebietes eingezeichnet.

Die Reaktion (Abb. 4) ist überall neutral bis stark alkalisch, liegt also stets bedeutend über dem Reaktionsoptimum der Jung-

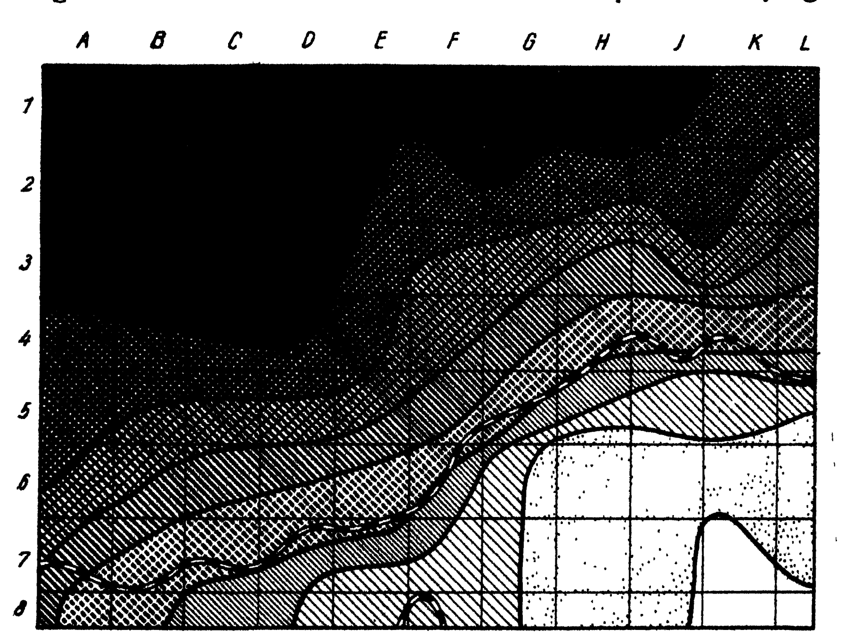
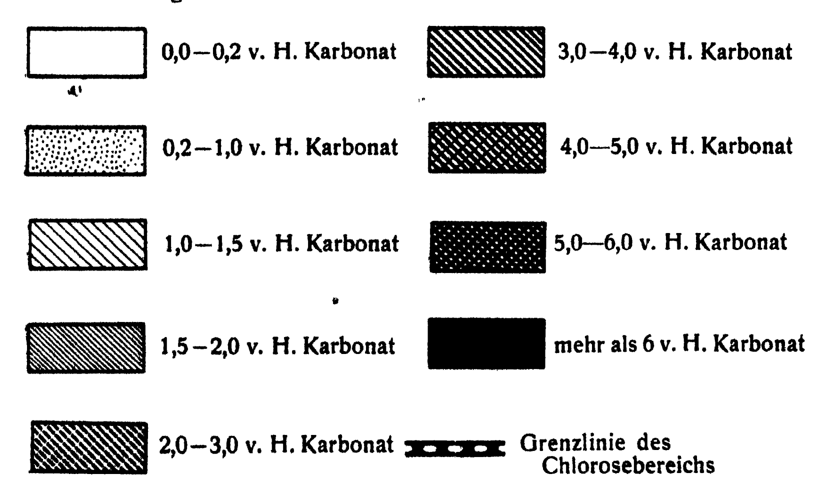


Abb. 5. Der Kalkgehalt in der Krume des in Abb. 3 bezeichneten Geländes. 1936.



pflanze. Beziehungen zwischen dem pH-Wert und dem Auftreten der Chlorose lassen sich nicht feststellen. Eine Ausnahme stellt nur der kleine Chlorosefleck in F 8 dar, der mit einer deutlichen Erhöhung des pH-Wertes zusammenfällt.

Eine Beziehung zwischen dem Karbonatgehalt der Krume (Abb. 5) und der Reaktion ist nur insofern erkennbar, als die Reaktion überall mehr oder minder alkalisch ist. Die Chlorosegrenze läuft stellenweise (C 7—H 4) den Linien gleichen Karbonatgehaltes ungefähr parallel. Anderen Orts aber verläuft sie fast senkrecht zu ihnen (A 7, B 7, K 4, L 5). Der kleine Chlorosefleck in F 8 scheint nicht in Beziehung zum Karbonatgehalt zu bringen zu sein.

Das Kartenbild über die Pufferung des Bodens in der Krume (Abb. 6) gleicht dem über dem Karbonatgehalt außerordentlich stark, was zu erwarten war, da bei dem vorliegenden Kalkmergel-

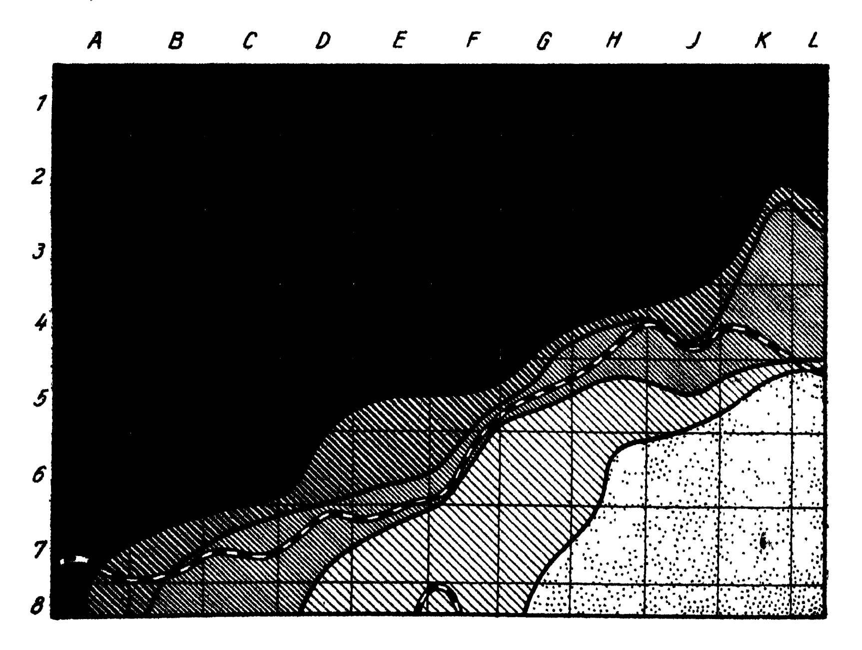
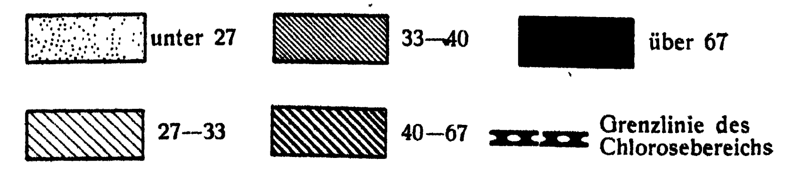


Abb. 6 Die Pufferungskraft gegen Salzsäure in der Krume des in Abb. 3 bezeichneten Geländes. 1936.



Die Zahlen bedeuten die Zahl der ccm n/10 HCl, die notwendig sind, um 1 kg Erde auf einen pH-Wert von 5,0 zu bringen.

boden eben der kohlensaure Kalk den wichtigsten Pufferungsfaktor darstellt. Die Chlorosegrenze läuft von E 7 bis G 5 auf die Pufferungslinie von 33, während sie an den anderen Stellen ähnliche oder gleiche Abweichungen zeigt wie auf der Karbonatkarte.

In 50 cm Tiefe (Abb. 7) ist die flächenmäßige Verteilung der verschiedenen Pufferungsintensitäten eine ganz andere als in der Krume. Die Chlorosegrenze verläuft gerade dort, wo sie in der Krume zu den Pufferungslinien parallel läuft, fast senkrecht zu den entsprechenden Linien dieses Horizontes (E 7—G 5); während sie dort, wo sie Diskrepanzen zu den Pufferungslinien der Krume zeigt, hier den entsprechenden Linien nahezu parallel läuft, so besonders in A 7 bis E 7 und in K 4 bis L 5.

In 75 cm Tiefe (Abb. 8) stoßen die Gebiete höchster Pufferungsintensität mit jenen schwächster so unvermittelt aufeinander, daß das Netz der Entnahmestellen der Bodenproben nicht eng genug ist, um die Übergänge zu erfassen[1]).

Die Chlorosegrenze verläuft hinsichtlich dieses Horizontes nur in ungepuffertem Gebiet. Wenn sie auch in weitem Abstande der gefundenen Pufferungslinie parallel läuft, so scheint doch

[1]) Interessant ist in geologischer Hinsicht, wie kraß in natürlichem Boden Karbonatkonzentrationen sehr verschiedener Stärke aufeinanderstoßen können.

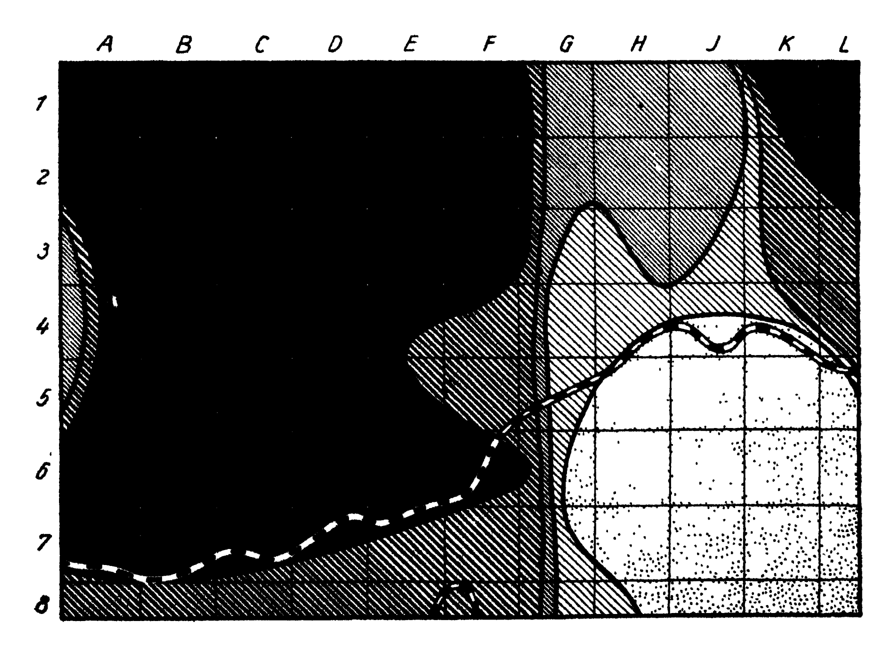


Abb. 7. Die Pufferkraft gegen Salzsäure in einer Tiefe von 50 cm des in Abb. 3 bezeichneten Geländes. 1936. Die Erklärung ist die gleiche, wie in Abb. 6.

die Beschaffenheit dieses Horizontes unter den gegebenen Verhältnissen ohne besonderen Einfluß für das Auftreten der Chlorose zu sein.

Verfolgen wir nun noch einmal den Verlauf der Chlorosegrenze von Ost nach West, so sehen wir, daß sie zunächst von A 7—E 7 den Bodenverhältnissen des tieferen Horizontes folgt, dann, von E 7—G 5 denen der Krume. Von G 5—I 4 ist ihr Verhalten beiden Horizonten gegenüber nicht eindeutig. Von K 4—L 5 folgt sie wieder mehr dem tieferen Horizont. Diese Beobachtungen zeigen also, daß das Auftreten der Chlorose als Resultante aus den Wirkungen der verschiedenen Bodenhorizonte aufzufassen ist. Die in Abschnitt 10 dargestellten Beobachtungen über die Chlorosestellen in Philippinenhof werden hierdurch also bestätigt und vertieft.

Die soeben beschriebene Chlorosegrenze hängt, da sie im wesentlichen von den mittels der Titrationsmethode zu erfassenden Bodenfaktoren und vom Karbonatgehalt abhängig ist, hauptsächlich vom Puffersystem der schwerlöslichen Bodensalze (s. S. 350) ab. Die kleine Chlorosestelle in F 8 kann auch durch eines der anderen Systeme mitbedingt sein. Leider liegen die ihr nächsten Bodenentnahmestellen nicht direkt in ihrem Bereich, sondern einige dm von ihr entfernt. Auffallend ist aber der hohe pH-Wert.

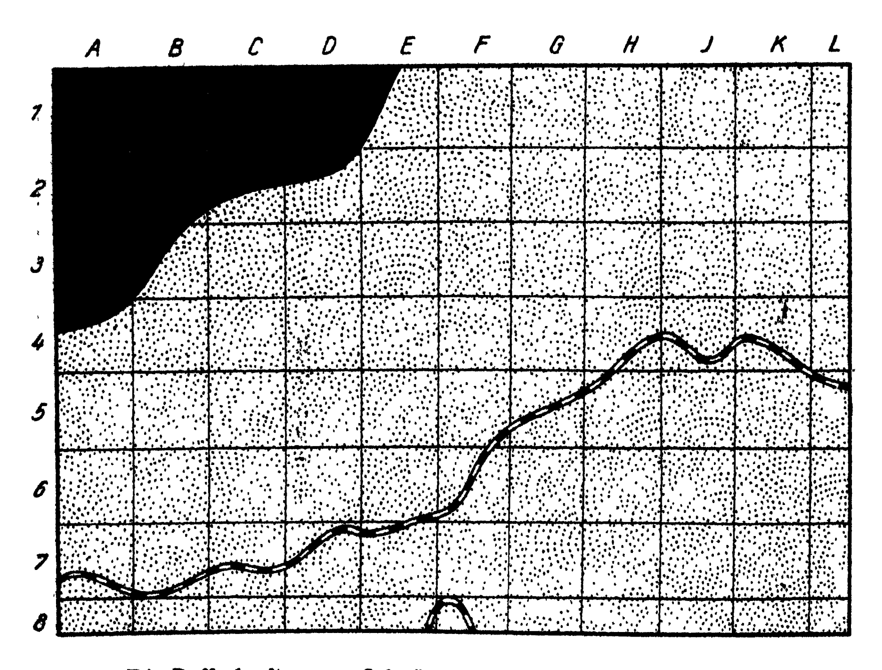


Abb. 8. Die Pufferkraft gegen Salzsäure in einer Tiefe von 75 cm des in Abb. 3 bezeichneten Geländes. 1936. Die Erklärung ist die gleiche, wie für Abb. 6.

12. Freilanduntersuchungen im Jahre 1938.

Auf demselben Rebenzuchtgelände wie 1936 wurden auch 1938 Lupinen im Spätsommer zur Gründüngung gedrillt. In der Zwischenzeit war der Zuchtgarten gerodet und wieder neu angelegt worden. Hierbei war der Boden durch den Motorpflug auf 50—60 cm Tiefe umgebrochen worden. Auch sonst sind durch die Rodung und Neuanlage tiefere Eingriffe in die Bodenverhältnisse erfolgt.

Die Entnahmestellen der Bodenproben wurden auf die gleichen Stellen gelegt wie zwei Jahre zuvor. Die Proben wurden einer Tiefe von 15 bzw. 50 cm entnommen. Die Kartenbilder 9 und 10 zeigen, wie beträchtlich die Veränderungen im einzelnen sind, wenn sich auch das Gesamtbild in den gröbsten Umrissen nur wenig geändert hat.

Um Sortenunterschiede bezüglich Kalkempfindlichkeit zu prüfen, wurden 3 Süßlupinenstämme so gedrillt, daß sich jeder Stamm jede 3. Zeile wiederholte. Ergebnisse dieses Sortenvergleiches sind a. O. dargestellt (29). Hier sollen nur die Verhältnisse bei Stamm 8 behandelt werden, des gleichen Stammes, der 1936 benutzt wurde. Quadratmeterweise wurden diesmal die gesunden und kranken Pflanzen ausgezählt. Die Karte Abb. 11 zeigt die Verteilung der Chloroseintensitäten. Zwecks besserer Vergleichsmöglichkeit wurden die Karten Abb. 9—11 mit dem gleichen Quadratennetz versehen wie die Abb. 4—8. Jene Chloroselinienteile, die mit Karbonatlinien eines der beiden Horizonte übereinstimmen, wurden doppelt konturiert gezeichnet, treten also als weiße Linien aus den Schraffuren hervor. Die entsprechenden

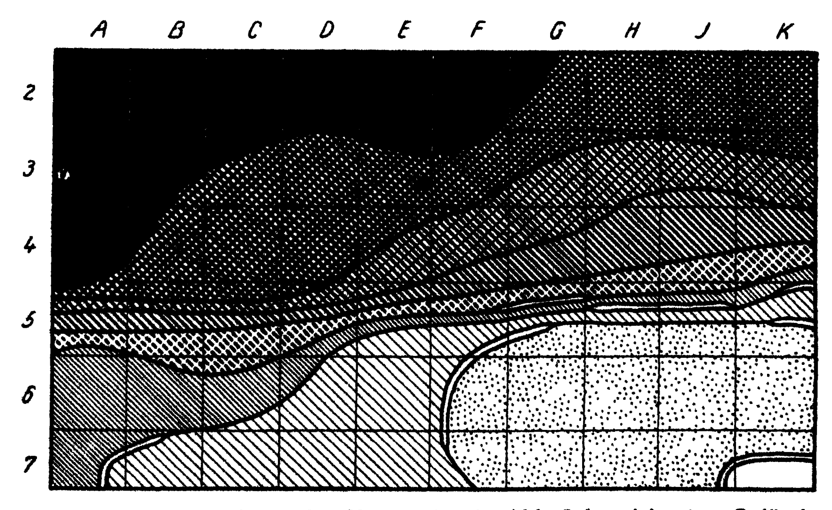


Abb. 9. Der Kalkgehalt in der Krume des in Abb 3 bezeichneten Geländes 1938. Die Erklärung ist die gleiche, wie für Abb. 5. Die doppelt konturierten Karbonatlinien stimmen mit „Chloroselinien“ der Abb. 11 überein.

Karbonatlinienteile der Karten Abb. 9 u. 10 wurden in gleicher Weise gekennzeichnet.

Das kleine Gebiet, in dem überhaupt keine chlorotischen Pflanzen auftreten (K 7), weist in beiden Horizonten einen Karbonatgehalt unter 0,2% auf. Von 0,2—1,0% tritt schwache Chlorose bis zu 50 und 60% auf, die durch die 1% Karbonatlinie in der Krume (F 7, F 6, G 5 u. K 5), stellenweise aber durch die 1,5% Linie (H 5, I 5,) begrenzt wird. Der Untergrund ist hier noch ohne sichtbaren Einfluß, da er nur schwachen, verhältnismäßig gleichmäßigen Karbonatgehalt aufweist. Er spielt eine wesentliche Rolle bei den stärkeren Chloroseintensitäten, so bei dem Übergang von 90 zu 100% in E 5, 6, 7 und B 5, 6, von 80 zu 90% in A, B 6, H, I 4 und I 3, 4. Bemerkenswert ist, daß der Wert der Karbonatlinie nicht den der entsprechenden Chloroselinie bestimmt; so verläuft z. B. die 100% Chloroselinie bei E 5, 6, 7 auf der 1%, bei B 5, 6 auf der 2% Karbonatlinie des Untergrundes. Die 60% Chloroselinie verläuft in F 5, 6, 7 u. G 5 sowie in K 5 auf der 1%, in H, I 5 auf der 1,5% Karbonatlinie der Krume. Hinsichtlich weiterer Einzelheiten sei auf die Karten verwiesen.

Die Ergebnisse reichen leider nicht zu einem sicheren Urteil darüber aus, wie weit diese soeben gekennzeichneten Unstimmigkeiten auf die oben beschriebenen Reaktionsausgleichsfaktoren und die anderen Pufferungssysteme oder auf den Karbonatgehalt der nicht erfaßten Bodenhorizonte zurückzuführen sind. Es wird aber noch deutlicher als durch die Beobachtungen aus den Jahren 1935 und 1936 gezeigt, daß die Bodenbeschaffenheit aller Horizonte bis mindestens zu einer Tiefe von 50—75 cm in ihrer Ge-

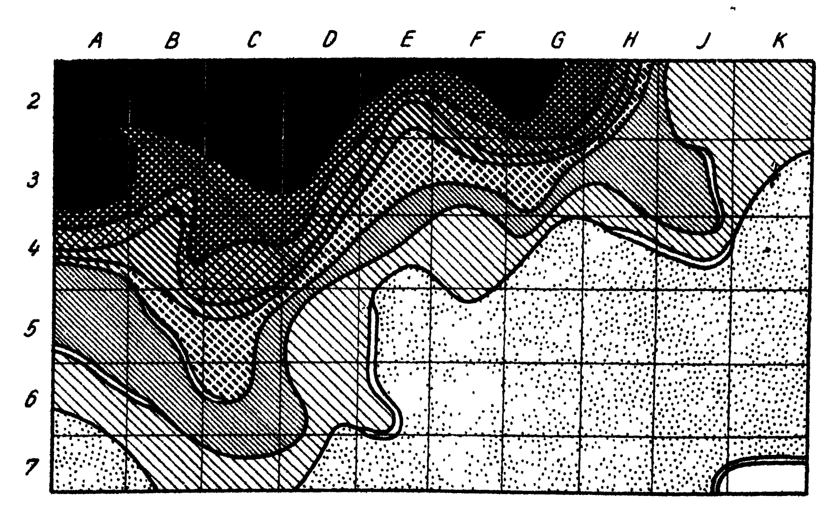


Abb. 10. Der Kalkgehalt in 50 cm Tiefe des in Abb. 3 bezeichneten Geländes 1938. Die Erklärung ist die gleiche, wie für Abb. 5 und 9.

samtheit auf die Lupine wirkt. Bodenproben aus der Krume können, wenn sie keinen Karbonatgehalt aufweisen, allein noch nicht darüber Auskunft geben, ob der Boden lupinenfähig ist oder nicht. Bemerkenswert ist, daß nach den bisherigen Beobachtungen die Bodenverhältnisse im wesentlichen die Intensität, kaum aber die Zeit des Auftretens der Chlorose beeinflussen. Die Chlorose tritt, selbst bei höchstem Karbonatgehalt, nie vor Entwicklung des 3. Laubblattes auf. Zu dieser Zeit hat aber die Wurzel bereits eine Länge von 50 cm und darüber und erreicht somit auch die tiefergelegenen Karbonatschichten. Es scheint also von Bedeutung zu sein, ob die Wurzel zur Zeit der Entwicklung des 3. Blattes irgendwo mit größeren Karbonatmengen

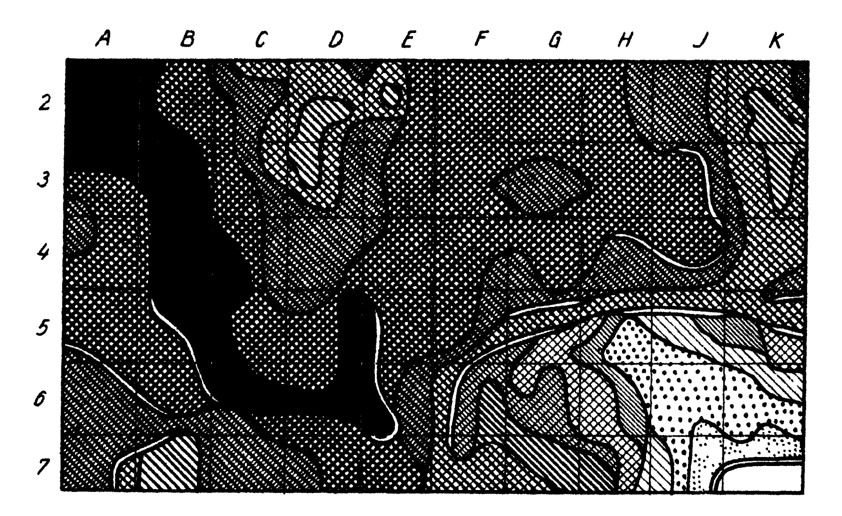
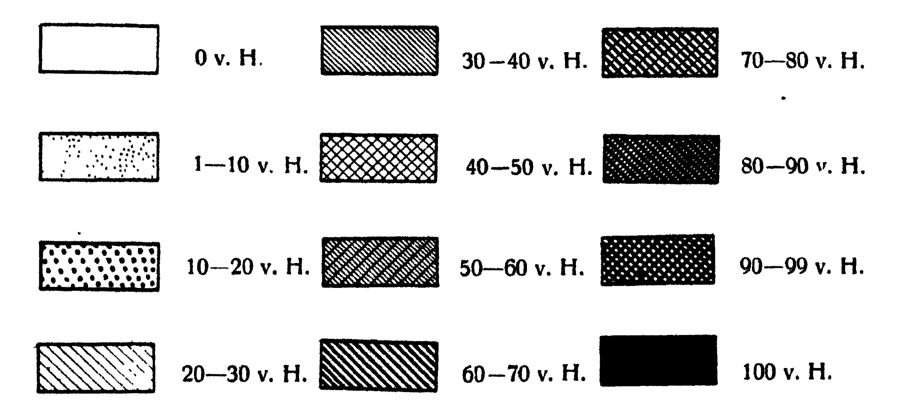


Abb. 11. Die Stärke des Auftretens der Chlorose von Lupinus luteus Stamm 8 im Herbst 1938 auf dem in Abb. 3 bezeichneten Gelände. Die Zahlen geben den Prozentsatz der chlorotischen Pflanzen an. Die doppelt konturierten Chloroselinien stimmen mit Karbonatlinien der Abb. 9 und 10 überein.



in Berührung kommt und an diesen Stellen nicht die optimale Reaktion in der Wurzelzone einstellen kann.

D. Betrachtung des Schrifttums.

In den vorstehenden Untersuchungen wurde gezeigt, daß die als Chlorose in Erscheinung tretende Kalkempfindlichkeit der gelben Lupine von einer Vielzahl physikalischer und chemischer Faktoren abhängt, von denen die Pufferung des Bodens der bedeutendste ist. Ältere Hinweise hierüber finden sich spärlich.

Ganz allgemein, ohne des Näheren auf die Lupine einzugehen, erwähnen bereits 1922/33 Olsen (17) und Arrhenius (2) die Bedeutung der Bodenpufferung in ihrer Beziehung zur Reaktionsabhängigkeit der Pflanzen. Die Bedeutung von Pufferungskräften bei der Kalkempfindlichkeit von Lupinus luteus deutet 1911 Pfeiffer (18) bereits an, wenn er von „Neutralitätsvorgängen der Wurzelsäuren durch Kalziumkarbonat" spricht. 1927 unterscheidet Reincke (22) auf Grund größerer Versuchsserien zwei Erscheinungen der Kalkempfindlichkeit, die echte Kalkchlorose und die Knöllchenmangelchlorose[1]). Beide Erscheinungen treten unabhängig voneinander auf. Reincke glaubt deutlich feststellen zu können, daß beide Erkrankungen in verschiedener Weise vom Kalk abhängig sind. Er schreibt: „Graphische Darstellung der Schädigung würde bei der Chlorose, wenn die Abszisse die Kalkmengen und die Ordinate der Grad der Schädigung angäbe, eine anfangs fast horizontale und dann von einem bestimmten Punkte plötzlich sehr steil ansteigende Kurve ergeben, bei der Infektionsschädigung (Knöllchenmangelchlorose) dagegen entstände etwa eine zunächst ein wenig steil und dann etwas flacher ansteigende Kurve." Bei einer Erörterung der Frage, welche Wirkungen des Kalkes als Ursache der Erscheinungen zu deuten seien, meint er, es sei nicht mit zwei, sondern mit drei Möglichkeiten zu rechnen. Allerdings sei die Wasserstoffionenkonzentration des Bodens gleich auszuschalten, die für keine der Kurven in Frage komme. Da die Pflanzen in Glassand standen, mußte schon eine geringe Kalkmenge die Pufferkraft der Grunddüngung erschöpfen und ein pH hervorrufen, das im wesentlichen von der $Ca(HCO_3)_2$-Konzentration abhängig und daher bei höherer Kalkgabe kaum steigerungsfähig war. Keine Schädigung entspricht diesem Bilde. Die Pufferung gegen Säuren müsse ein ganz anderes Bild ergeben. Isoliert sei die Pufferungskraft jedes Grammes $CaCO_3$ gleich. In den Versuchsgefäßen aber werde den ersten kleinen Kalkmengen ein wenig ihrer Pufferkraft durch die Nährlösung genommen. Die Pufferung werde also bei steigenden Kalkgaben zunächst schwach, dann sehr schnell stark zunehmen.

Diesem Bild entspräche etwa das der Chloroseschädigung. Durch gleiche Betrachtungsweise sucht Reincke darzutun, daß die Knöllchenmangelchlorose der Menge in Lösung gegangenen Kalziumkarbonates entspricht. Reincke kommt also hier zu der Anschauung, daß die Kalkchlorose von der Pufferung gegen Säure abhängt, ohne daß er irgendwie eine Funktion der sauren Wurzelausscheidungen in Betracht zieht. Bringt man seine Anschauung mit jener von Pfeiffer in Zusammenhang, daß das Kalziumkarbonat die Wurzelsäuren neutralisiere, so müßte man allein schon daraus ableiten, daß den Wurzelsäuren der Jungpflanze von Lupinus luteus die Funktion der Einstellung der optimalen Wasserstoffionenkonzentration zuzuschreiben ist. Indessen, genau wie Pfeiffer 1914 und 1919 seine 1911 vertretene Anschauung aufgibt (27), tut es 1932 auch Reincke (23), wenn er schreibt, „daß die gegen Säure puffernde Kraft des Kalkes im Boden nicht Ursache der Chlorose sein kann." Der Versuch, aus dem Reincke nunmehr diese Folge-

[1]) In den eigenen Veröffentlichungen (25, 26, 27, 29) habe ich bisher ausschließlich die „echte Kalkchlorose" behandelt und vermieden, auf die Knöllchenfrage, sowie auch die Eisenfrage u. a. einzugehen. Die Begründung für dieses Verhalten gab ich früher (23, Seite 33 oben).

rung zieht, stand auf nährstofffreiem Sand von offenbar großer Feinkörnigkeit und daher großer Kapillarität. Pufferkraftmessungen selbst hat Reincke weder hier noch bei seinen ersten Untersuchungen gemacht. Er hat die Pufferkraft vielmehr nur rein theoretisch abgeleitet und hierbei der dem Sande spezifisch eigenen Pufferkraft gegen Alkali keine Beachtung geschenkt. Hieraus und aus dem Umstande, daß die Struktur- und Feuchtigkeitsverhältnisse nicht berücksichtigt worden sind, sind die Unstimmigkeiten bei Reincke, der 1927 der Aufklärung des Problems sehr nahe kam, zu erklären. In neuester Zeit wird die Pufferung des Bodens von Luna de la Fuente (14) hervorgehoben, der in Fortsetzung der Arbeit von Solberg (28) die Wurzelausscheidungen untersucht. Luna, der mit den Solbergschen Wurzelkästen (denselben, denen die unsrigen nachgebildet wurden) arbeitet, bedeckt den Boden nach Abnehmen der Glasscheibe mit einer gleichmäßigen, dünnen Schicht von Bariumsulfat und besprüht sie mit Farbindikatoren. Er beobachtet, wie bereits erwähnt, bei Mais Wurzelzonen von großer Ausdehnung, bei Lupinus luteus dagegen solche, die sich schmal und scharf begrenzen und bei einem pH von 4,5 (bei einem anderen Versuch 5,0) nur eine Ausbildung von höchstens 1 mm hatten. Er bringt diesen Unterschied mit der bereits von Aberson (1) 1910 beobachteten schleimigen Hülle der Wurzelhaare in Verbindung. Erörterungen über die Bedeutung dieser schleimigen Hülle wurden bereits früher (Abs. B IIb 4) gemacht.

Die zahlreichen, eingangs theoretisch und in Abschnitt C 2—9 experimentell behandelten Außenfaktoren treten verständlicherweise nur dann sichtbar in Erscheinung, wenn sie durch den Kardinalfaktor der Pufferkraft durch Erdalkalikarbonate nicht überdeckt werden. Das war aber zweifellos der Fall bei Merkenschlager (15).

Dieser mischte einen natürlichen Kalkboden (55 v. H. kohlensaurer Kalk und 23 v. H. kohlensaure Magnesia) mit grobkörnigem Quarzsand in verschiedenen Verhältnissen. Hierbei wurde ein Zurücktreten der chlorotischen Erscheinungen bei Lupinus luteus nicht erzielt. Merkenschlager folgert: „Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Kalkbodens bleiben ohne Einfluß auf das Verhalten der Lupine.“

Um bei diesem Boden die physikalischen Einflüsse nachweisen zu können, hätte Merkenschlager, um in den Bereich der kritischen Karbonatkonzentration zu gelangen, den Karbonatgehalt mindestens auf 1% herabsetzen müssen, sei es durch Säuren oder saure Salze, sei es durch eine Kalkboden-Quarzsandmischung im Verhältnis von 1 : 73. Bei letzterer Versuchsanordnung hätte er bei Verwendung verschieden feingekörnten Quarzsandes die physikalischen Bodeneinflüsse verhältnismäßig leicht nachweisen können.

Aus den in den Abschnitten B und C gegebenen Darlegungen ergibt sich weiter, daß alle jene Salze, die mehr oder minder stark nach einem pH-Wert zwischen 5 und 7 puffern, Chlorose hervorrufen müssen, wenn durch die Gesamtkonstellation der Bodenfaktoren eine Pufferung erzeugt wird, die von den Wurzelausscheidungen nicht mehr überwunden werden kann. Bei einer anderen Konstellation braucht bei gleichem Salz und gleicher Konzentration desselben keineswegs Chlorose aufzutreten. Für Kalziumkarbonat in schwacher Konzentration wurde dies in den Abschnitten C2—C8 verschiedentlich experimentell gezeigt. Auch beschreibt Heinze (11, 12) Versuchsergebnisse, wonach auf dem schweren Lauchstädter Boden die Lupine hohen Kalkgehalt unbeschädigt vertragen könne, sofern der Boden genügend locker und durchlüftet sei.

Von diesen Salzen treten im Schrifttum besonders die schwerlöslichen Erdalkalisalze hervor, neben den Phosphaten vornehmlich Kalziumsulfat. Gerade Gips wurde sehr häufig zur Klärung

der Frage herangezogen, ob die Alkalität oder der Ca-Gehalt des kohlensauren Kalkes die Schädigung hervorrufe. Wenn Gips nicht schädige, so sollte der Kalkschaden auf einer Alkaliwirkung beruhen, andernfalls auf einer Ca-Wirkung. Die Antwort des Experiments war so ungleichmäßig und widerspruchsvoll als irgend möglich.

Im Feldversuch fanden Kette (13) und andere von diesem zitierte Untersucher keine Schädigung; während Behn (3) und Densch (6) eine solche feststellten. Im Gefäßversuch wirkte Gips bei Heinrich[1]) (10) und bei Pfeiffer und Simmermacher (21) schädigend, bei Pfeiffer und Blanck[1]) (18), Behn (3), Densch und Steinfatt (7) und Schander (27) dagegen nicht, oder doch erheblich schwächer als kohlensaurer Kalk in entsprechend starken Gaben.

Diese Ergebnisse trugen zu der Verwirrung, die über das Problem der Kalkfeindlichkeit herrschte, wesentlich bei, finden aber nunmehr wenigstens zum Teil ihre Erklärung, wenn auch die Einzelheiten der Darstellungen der Versuchsbedingungen nicht immer ausreichen, die Verhältnisse befriedigend rekonstruieren zu können. Es sei aber an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen, daß die hier dargestellten Verhältnisse nicht die einzigen Gründe dafür sind, daß gerade die Versuche mit Kalziumsulfat so unterschiedliche Ergebnisse zeitigen, sondern daß physiologische Unterschiede der einzelnen Entwicklungsstadien der Pflanze in etwa gleichem Maße verantwortlich zu machen sind.

Besonders die in den Abschnitten C 10—C 12 beschriebenen Untersuchungen zeigen ferner die Ursache auf, warum Lupinus luteus ein guter „Boden- und Untergrundboniteur" ist. Über diese gerade Lupinus luteus kennzeichnende Eigenschaft sind Angaben im Schrifttum sehr reichlich vorhanden.

Erwähnt seien nur von den älteren Autoren Blomeyer (4) und Kette (13), von den jüngeren Roemer (24). Roemer schreibt, daß die Lupine sich durch „empfindlichste Reaktion gegenüber feinen und feinsten Bodenunterschieden" auszeichne. In erster Linie sei es die Empfindlichkeit gegen verschiedene Reaktion des Bodens, in zweiter Linie die gegen verschiedenen Wassergehalt und in weitaus geringerem Maße die gegen Nährstoffmangel und Nährstoffunterschiede. Als empfindlichstes Maß wählt Roemer Unterschiede in der Reifezeit der Lupine.

E. Zusammenschau und Schluß.

In rein theoretischer Betrachtungsweise wurden zunächst alle Bodenfaktoren zusammengestellt und erörtert, die lediglich auf die Entstehung und Erhaltung der von den Wurzelausscheidungen zu bildenden optimalen Wasserstoffionenkonzentration in der Wurzelzone Einfluß haben. Um die Problemstellung eng und unkompliziert zu halten, wurde bewußt darauf verzichtet, jene Vorgänge zu behandeln, die direkt auf die Pflanze und über diese indirekt auf die Einregulierung der Reaktion in der Wurzelzone wirken, obwohl an Hand einiger Untersuchungen bereits früher (27) gezeigt worden war, daß kohlensaurer Kalk bzw.

---

[1]) Zu erwähnen ist, daß der Gips bei Heinrich 5,1%, bei Pfeiffer 1,6% $CaCO_3$ enthielt.

alkalische Reaktion die Wurzelausscheidungen, also eine Funktion der Pflanze selbst, hemmen. Auch wurden Einflüsse auf die Atmung der Wurzel, die ja von der Luftführung des Bodens und damit zusammenhängend auch von der Wasserführung desselben abhängig ist, nicht beachtet. Experimentell wurde sodann gezeigt, daß sich bei geeigneter Versuchsanstellung die Wirksamkeit der Mehrzahl der erschlossenen Faktoren direkt nachweisen läßt. Zusammenfassend ist als Ergebnis sämtlicher Untersuchungen zu sagen, daß die Chlorose der Jungpflanze von Lupinus luteus allein von den Reaktions- und Konzentrationsverhältnissen in der Wurzelzone abhängig ist, und zwar längs der ganzen Wurzel. Es genügt nicht, daß ein Teil der Wurzeln unter optimalen Bedingungen steht, während ein anderer direkt nicht ertragbarer Reaktion ausgesetzt ist. Daher ist nicht allein die Krume auf das gesunde Wachstum der Lupine von Einfluß, sondern auch der Untergrund in allen seinen Schichten, die von der Wurzel erreicht werden, also bis zu einer Tiefe von 1 m und darüber. Außer der in unseren Gegenden meist durch Erdalkalikarbonate bedingten Pufferkraft gegen Säuren spielen Struktur und Wasserverhältnisse oft eine entscheidende Rolle.

Es wurde schließlich versucht, die dargestellte Anschauung auch aus dem Schrifttum abzuleiten, sowie eine Anzahl von Widersprüchen im Schrifttum aufzuklären.

Schrifttum.

1. Aberson, J. H.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Natur der Wurzelausscheidungen. Jb. wiss. Botanik, Berlin, **47**, 1910, 41.
2. Arrhenius, O.: Bodenreaktion und Pflanzenleben. Akad. Verl. Leipzig 1922.
3. Behn: Zur Kenntnis der Kalkempfindlichkeit von Lupinen. Ber. über d. Tätigk. d. biol. Reichsanst. i. J. 1919, 15. Jahresber., 1920, 156.
4. Blomeyer, A.: Die Kultur der landw. Nutzpflanzen. Leipzig 1889.
5. Czapek, Fr.: Zur Lehre von den Wurzelausscheidungen. Jb. wiss. Bot., Berlin, **29**, 1896, 321.
6. Densch: Versuch über die Ursachen der Kalkempfindlichkeit der gelben Lupine. Landw. Jb., Berlin, **68** (Ergbd. I), 1928, 33.
7. Densch u. Steinfatt: Die „Kalkfeindlichkeit“ der Lupine. Z. Pflanzenernähr. u. Düng., Berlin, B, **9**, 1930, 161.
8. Gradmann, H.: Untersuchungen über die Wasserverhältnisse des Bodens als Grundlage des Pflanzenwachstums. I. Jahrb. f. wissensch. Botanik, Berlin, **69**, 1928, 1. — II. Ebenda, **71**, 1929, 669.
9. Gradmann, H.: Die Wasserverhältnisse des Bodens und das Pflanzenwachstum. Die Naturwissenschaften, Berlin, **19**, 1931, 257.
10. Heinrich, R.: Kalk und Lupine. Mergel und Mergeln. Berlin 1896.
11. Heinze, B.: Einige neuere Beobachtungen beim Anbau von Seradella und Lupinen auf schwerem Boden. Jahresber. d. Ver. f. angew. Bot., Berlin, **5**, 1907, 161.
12. Heinze, B.: Der Lupinenbau auf leichten und schweren Böden. Ill. Landw. Z., Berlin, **35**, 1915, 376 und 383.
13. Kette, W. u. Koenig: Die Lupine als Feldfrucht. Berlin 1891, 9. Aufl., Paul Parey.
14. Luna de la Fuente, Carlos: Beiträge zur Kenntnis der Rhizosphaere. Diss. Bonn, 1936.
15. Merkenschlager, F.: Zur Frage der Kalkempfindlichkeit der Lupine, **1**, Fühl. landw. Z., Stuttgart, **70**, 1921, 231.
16. Mevius, W.: Kalzium-Ion und Wurzelwachstum. Jb. wiss. Bot., Berlin, **66**, 1927, 183.

17. Olsen, C.: Studies on the Hydrogen-Ion-Concentration of the soil and its significance to the vegetation especially to the natural distributions of plants. C. R. trav. du lab. de Carlsberg, **15**, 1923, 1.
18. Pfeiffer, Th., u. E. Blanck: Die Kalkfeindlichkeit der Lupine, sowie Bemerkungen über das Verhalten auch einiger anderer Pflanzen alkalisch bzw. sauer reagierenden Nährflüssigkeiten gegenüber. Mitt. landw. Inst. Univ. Breslau, **6**, 1911, 273.
19. Pfeiffer, Th., u. E. Blanck: Die Säureausscheidung der Wurzeln und die Löslichkeit der Bodennährstoffe in kohlensäurehaltigem Wasser. Landw. Versuchsst., Berlin, **77**, 1912, 217.
20. Pfeiffer, Th., u. E. Blanck: Die Kalkfeindlichkeit der Lupine (zweite Mitt.) Mitt. Landw. Inst. Univ. Breslau, **7**, 1914, 201.
21. Pfeiffer u. Simmermacher: Die Kalkfeindlichkeit der Lupine. Landw. Versuchsstat., Berlin, **93**, 1919, 1.
22. Reincke, R.: Die Kalkempfindlichkeit der gelben Lupine und der Anteil der Knöllchenbakterien an der Erkrankung. Z. Pflanzenernähr., Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **17**, 1930, 79 u. Diss. Breslau, 1927.
23. Reincke, R.: Experimentaluntersuchungen über die Chlorose der gelben Lupine. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, A, **23**, 1932, 77.
24. Roemer, Th.: Die Minderung der Ertragsschwankungen der Lupinenarten. Ill. landw. Zeitung, Berlin, **47**, 1927, 311. Lupinensondernummer.
25. Schander, H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren während ausschließlicher Ernährung durch die Keimblätter in Wasserkultur. 1. Die Wirkung einzelner Salze und der Reaktion. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, **11**, 1938, 32.
26. Schander, H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren während ausschließlicher Ernährung durch die Keimblätter in Wasserkultur. 2. Die Wirkung der Reaktion und Salzkonzentration der Nährlösung. Ebenda, **11**, 1938, 278.
27. Schander, H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jugendchlorose von Lupinus luteus von Außenfaktoren in Sandkultur. Ebenda, **12**, 1939, 71.
28. Solberg, Paul: Untersuchungen über die Wurzelausscheidungen verschiedener Pflanzen bei ihrer Kultur ohne und mit Zusatz von Nährsalzen. Landw. Jb., Berlin, **81**, 1935, 891:
29. Troll, H. J., u. H. Schander: Pleiotrope Wirkung eines Gens bei Lupinus luteus. Der Züchter, Berlin, **10**, 1938, 266.
30. Wiegner, G., u. H. Pallmann: Über Wasserstoff- und Hydroxylschwarmionen um suspendierte Teilchen und dispergierte Ultramikronen. Z. Pflanzenernähr. Düng. u. Bodenkunde, Berlin, **A**, **16**, 1930, 1. [291]

Herstellung und Wirkung Harnstoff enthaltender Mischdünger aus Kalkstickstoff und Kaliumsulfat.

Von **H. Kappen**, Bonn.
Mitteilung aus dem agrikulturchemischen Institut der Universität Bonn.

Eingegangen: 27. Februar 1939.

Daß man gut wirkende Mischdünger durch einfaches Vermischen von Kalkstickstoff mit Phosphorsäuredüngern wie Thomasmehl, Rhenaniaphosphat und anderen Schmelz- oder Sinterphosphaten herstellen kann, ist bekannt und auch noch vor kurzer Zeit durch Felddüngungsversuche bestätigt, die von uns mit solchen Mischungen ausgeführt wurden (1).

Diese Mischungen aus Kalkstickstoff und anderen Düngemitteln, wie Phosphorsäuredüngern und Kalisalzen, sind aber zumeist nicht sonderlich gehaltreich an Nährstoffen. Es wurde daher von uns, um gehaltreichen Mischdünger auf der Grundlage des Kalk-

stickstoffs zu gewinnen, ein Umweg eingeschlagen, bei dem der Kalkstickstoff in den stickstoffreichen Harnstoff übergeführt wurde. Mit seinem Stickstoffgehalt von rund 46% gibt der Harnstoff naturgemäß eine viel brauchbarere Grundlage für die Herstellung von Mischdüngern ab als der nur halb so gehaltreiche Kalkstickstoff. Schon durch die einfache Vermischung des Harnstoffs mit einem hochprozentigen Phosphorsäuredünger, wie etwa Dikalziumphosphat, und mit einem hochprozentigen Kalisalz, wie etwa Kaliumsulfat, lassen sich ziemlich nährstoffreiche Mischdünger herstellen. Aber selbst so hochprozentige Zumischmittel wie die genannten enthalten noch soviel an Nebenbestandteilen, daß sie mit Harnstoff — wenn z. B. von jedem der drei Bestandteile rund ein Drittel in dem Gemisch vereinigt wird — Mischdünger liefern, die an Stickstoff, Kali und Phosphorsäure doch nur etwa je 15% enthalten. Um noch gehaltreichere und dabei fast ballastfreie Mischdünger herzustellen, wurde nun der folgende Weg beschritten.

Kalkstickstoff wurde in Gegenwart von Wasser mit Kaliumsulfat umgesetzt, wobei sich zunächst unter dem Einfluß des Wassers das saure Kalziumzyanamid $(CNNH)_2Ca$ bildet, das dann nach der folgenden Gleichung mit dem Kaliumsulfat reagiert:

$$(CNNH)_2Ca + K_2SO_4 = 2\,CNNHK + CaSO_4.$$

Es entsteht also nach dieser bekannten Umsetzung zunächst eine Lösung von Kaliumzyanamid, die durch Filtration von dem ausgeschiedenen Gips und den anderen ungelöst gebliebenen Bestandteilen des Kalkstickstoffs getrennt wird. Natürlich kann man, um diese Lösung von Kaliumzyanamid zu erhalten, auch von einer wässerigen Lösung von Kalkstickstoff ausgehen, indem man sie mit der berechneten Menge an Kaliumsulfat oder Kaliumsulfatlösung vermischt. Die Umsetzung des sauren Kalziumzyanamids mit dem Kaliumsulfat läßt sich, der Schwerlöslichkeit des dabei entstehenden Kalziumsulfats entsprechend, sehr weitgehend durchführen.

Die Lösung des in diesem ersten Teil der Umwandlung des Kalkstickstoffs erhaltenen Kaliumzyanamids verhält sich nun infolge weitgehender Hydrolyse fast geradeso wie eine Lösung von freiem Zyanamid und von freiem Kaliumhydroxyd. Mit Hilfe von Säuren neutralisiert, liefert sie daher das entsprechende Kalisalz und freies Zyanamid. Bei Verwendung von Salpetersäure und Phosphorsäure verlaufen die folgenden Reaktionen:

$$1.\ CNNHK + HNO_3 = KNO_3 + CNNH_2$$

$$2.\ CNNHK + H_3PO_4 = KH_2PO_4 + CNNH_2.$$

In den so erhaltenen gemischten Lösungen von freiem Zyanamid und Kalisalzen braucht man nur noch das Zyanamid in Harnstoff umzuwandeln, um nach dem Verdampfen des Wassers Harnstoff und Kalisalz enthaltende Mischdünger zu gewinnen. Diese Umwandlung des Zyanamids in Harnstoff wird in sehr

einfacher Weise nach einem schon vor vielen Jahren ausgearbeiteten katalytischen Verfahren (2) durchgeführt, bei dem die Zyanamid enthaltende Lösung in der Wärme bei schwach saurer Reaktion mit fein zerteiltem Mangansuperoxyd oder einem anderen geeigneten festen Katalysator in Berührung gebracht wird. An der Oberfläche des Katalysators vollzieht sich die Wassereinlagerung in das Zyanamid, wobei Harnstoff entsteht:

$$CNNH_2 + H_2O = CO(NH_2)_2.$$

Die vom Katalysator abfiltrierte Lösung wird dann nur noch eingedampft, um das Gemisch von Harnstoff und Kalisalz in fester Form zu erhalten.

Drei nach dieser Methode hergestellte Mischdünger wiesen die folgenden Nährstoffgehalte auf. Die Mischdünger 1 und 2 wurden durch Neutralisation der Kaliumzyanamidlösung mit Salpetersäure gewonnen und bestanden daher aus Gemischen von Harnstoff und Kaliumnitrat, Mischdünger 3 war dagegen unter Verwendung von Phosphorsäure hergestellt und bestand infolgedessen aus einem Gemisch von Harnstoff und Kaliumphosphat.

	Gesamt-N %	K_2O %	P_2O_5 %	Dizyandiamid-N %
Mischdünger 1	25,25	25,30	—	1,47
Mischdünger 2	23,38	25,60	—	0,51
Mischdünger 3	15,45	25,35	26,77	0,65

Es lassen sich somit auf die geschilderte Weise recht gehaltreiche Mischdünger erzeugen, die im wesentlichen frei von Nebenbestandteilen sind. Wie die letzte Zahlenreihe zeigt, enthalten diese Mischdünger allerdings stets eine kleine Menge an Dizyandiamid, die in der Hauptsache aus dem verarbeiteten Kalkstickstoff stammt, der wohl nie ganz frei von diesem Stoff ist. Eine geringe Vermehrung mag aber auch dieser Stoff bei der weiteren Verarbeitung des Kalkstickstoffs erfahren. Wie die Angaben für die Mischdünger 2 und 3 zeigen, kann man aber den Gehalt der Mischdünger an Dizyandiamid sehr niedrig halten, so daß er voraussichtlich bei der Düngung keinen Schaden anrichtet. Um diese Annahme jedoch zu prüfen, wurden mit den drei Mischdüngern Vegetationsversuche in Gefäßen angesetzt, in denen sie mit völlig von Dizyandiamid freien, sonst aber entsprechend zusammengesetzten Mischdüngern verglichen wurden.

Versuchsbedingungen:

Als Versuchsboden fand ein fast neutral reagierender humoser Sandboden von Hangelar Verwendung. Die Vegetationsgefäße waren Mitscherlich-Gefäße, die in der üblichen Weise beschickt und behandelt wurden. Da bei den Versuchen nur die Stickstoffwirkung der neuen Mischdünger herausgearbeitet werden sollte, erhielten die Vergleichsgefäße eine Düngung mit Rhenaniaphosphat und schwefelsaurer Kalimagnesia. Die Gefäße mit den Mischdüngern 1 und 2 und ebenso die Gefäße mit dem aus reinem Harnstoff und Kaliumnitrat zusammengesetzten Vergleichsdünger erhielten dagegen, weil

diese Dünger selbst schon kalihaltig waren, in der Grunddüngung nur noch Rhenaniaphosphat. In allen Reihen wurde die Düngergabe so bemessen, daß bei der niedrigeren Gabe je 313 mg N, P_2O_5 und K_2O auf jedes Gefäß entfielen, bei der höheren Gabe die doppelte Menge. Wo sich Nährstoffausgleichungen in den Düngergaben notwendig machten, wie z. B. bei dem zum Vergleich mit dem Mischdünger 3 herangezogenen Hakaphos, wurden sie durch berechnete Zulagen von Harnstoff, Rhenaniaphosphat und Kaliummagnesiumsulfat bewirkt. Als Versuchspflanze wurde auf den Gefäßen Sommergerste angebaut. Die Düngung erfolgte am 30. April 1937, die Saat am 7. Mai 1937 und die Ernte am 30. Juli 1937. Für jede Düngungsart wurden 3 Gefäße angesetzt; die Ernteergebnisse sind als Mittelwerte dieser 3 Gefäße in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Die Versuchsergebnisse beweisen zunächst, daß die unter Verwendung von Kalkstickstoff und Kaliumsulfat hergestellten, aus Harnstoff und Kaliumnitrat bestehenden Mischdünger 1 und 2 keine schlechtere Wirkung entfaltet haben, als die Mischung aus reinem Harnstoff und reinem Kaliumnitrat. Die kleinen Mengen an Dizyandiamid, die sich in den Mischdüngern 1 und 2 befinden, haben also keine nachteilige Wirkung ausgeübt, wenigstens

Trockensubstanzernten in g im Mittel von 3 Gefäßen.

Art der Düngung	Körner	Stroh	Gesamternte
Grunddüngung ohne N, Rhenaniaphosphat und Kalimagnesia I	0,53	2,05	2,58
Grunddüngung ohne N, Rhenaniaphosphat und Kalimagnesia II	0,70	2,53	3,23
Reiner Harnstoff, reines Kaliumnitrat, Rhenaniaphosphat I	7,74	11,48	19,22
Reiner Harnstoff, reines Kaliumnitrat, Rhenaniaphosphat II	7,96	20,68	28,64
Mischdünger 1 + Rhenaniaphosphat I	7,72	10,95	18,67
Mischdünger 1 + Rhenaniaphosphat II	6,92	21,43	28,35
Mischdünger 2 + Rhenaniaphosphat I	8,29	10,62	18,91
Mischdünger 2 + Rhenaniaphosphat II	8,29	21,29	29,58
Mischdünger 3 + Rhenaniaphosphat I	7,40	9,23	16,63
Mischdünger 3 + Rhenaniaphosphat II	8,89	13,45	22,34
Hakaphos + Rhenaniaphosphat und Kalimagnesia I	7,47	10,02	17,49
Hakaphos + Rhenaniaphosphat und Kalimagnesia II	8,96	15,31	24,27

nicht in bezug auf die Gesamternten. Ob die Herabsetzung der Körnerernte bei der hohen Gabe des Mischdüngers 1 mit seinem Gehalt an Dizyandiamid in Verbindung gebracht werden darf, läßt sich nicht sagen. Dizyandiamid ist ja kein eigentliches Pflanzengift, es wird vielmehr in kleineren Mengen von den Pflanzen aufgenommen, ohne die Verwertung anderer Stickstoffdünger wesentlich zu beeinträchtigen (3). Auf den Gehalt des Mischdüngers 1 an Dizyandiamid kann man daher die für die

Körnerernte nachteilige Wirkung der hohen Düngergabe kaum zurückführen. Allerdings kann aber auch keine andere Erklärung dafür gegeben werden. Die höhere Düngergabe hat ja auch in den anderen Fällen zu keiner oder wenigstens keiner wesentlichen Steigerung der Kornerträge geführt, hat sich vielmehr hauptsächlich in den Stroherträgen ausgewirkt, hier aber so deutlich, daß die Gesamterträge an Korn + Stroh bei den höheren Düngergaben die bei den niedrigeren ganz erheblich übertreffen. Die beiden letzten in der Tabelle aufgeführten Mischdünger — der Harnstoff und Kaliumphosphat enthaltende Mischdünger 3 und das durch Zusatz von schwefelsaurer Kalimagnesia und Rhenaniaphosphat in seinem Nährstoffgehalt ausgeglichene Hakaphos — bleiben allerdings gerade in der Richtung auf die Steigerung der Stroherträge durch die höhere Düngergabe hinter den anderen Mischdüngern zurück. Da der Mischdünger 3 unter Verwendung von Phosphorsäure anstelle von Salpetersäure hergestellt war, und da das Hakophos ebenfalls keinen Salpeterstickstoff enthält, liegt es nahe, das Zurückbleiben auf das Fehlen dieser Stickstofform zurückzuführen. Das Hauptergebnis der vorstehenden Versuche bleibt von diesen Besonderheiten aber ganz unberührt; es besteht in der Feststellung, daß sich auf dem angegebenen Wege über Kalkstickstoff und Kaliumsulfat ballastarme und daher gehaltreiche Mischdünger erzeugen lassen, die keine schlechtere Düngerwirkung aufweisen, wie die von Dizyandiamid völlig freien Mischungen aus ihren reinen Bestandteilen.

Schrifttum.

1. H. Kappen: Zur Vermischung von Phosphorsäuredüngern mit Kalkstickstoff. Bodenkunde u. Pflanzenernähr., Berlin, 6, 1938, 383.
2. H. Kappen: Die Katalyse des Zyanamids und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. Habilitationsschr., Jena, 1913.
3. L. Schmitt: Die Wirkungen des Kalkstickstoffs. Reichsnährstand Verlags-Ges. m. b. H., Zweigniederlassung Hessen-Nassau, 27—33. [287]

Schriftwalter: Prof. Dr. F. Giesecke, Berlin-Dahlem. — Anzeigenleiter: Anton Burger, Berlin-Tempelhof. — I. v. W. g. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 3. — Druck: G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig). — Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstr. 3